

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 1 日 (01.09.2005)

PCT

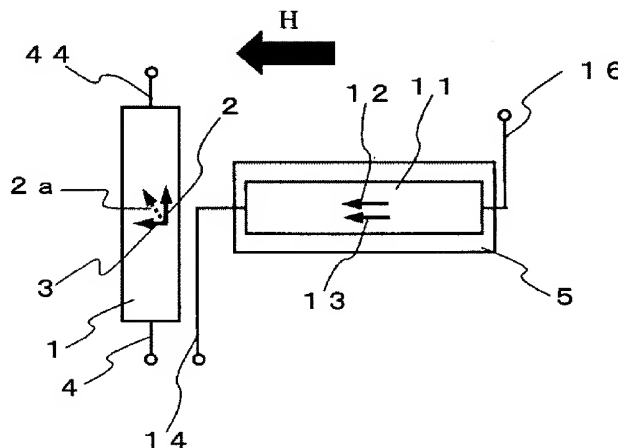
(10) 国際公開番号  
WO 2005/081007 A1

- (51) 国際特許分類: G01R 33/09 KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/013824
- (22) 国際出願日: 2004 年 9 月 22 日 (22.09.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2004-043248 2004 年 2 月 19 日 (19.02.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長永 隆志 (TAKENAGA, Takashi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 小林 浩 (KOBAYASHI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 黒岩 丈晴 (KUROIWA, Takeharu) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 拜山 沙徳克 (BEYSEN, Sadeh) [CN/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 古川 泰助 (FURUKAWA, Taisuke) [JP/JP]; 〒1008310

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC FIELD DETECTOR, CURRENT DETECTOR, POSITION DETECTOR AND ROTATION DETECTOR EMPLOYING IT

(54) 発明の名称: 磁界検出器、これを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出装置



(57) Abstract: A magnetic field detector comprising a magnetoresistive element for reference and a magnetoresistive element for detecting magnetic field. Each of the magnetoresistive element for reference and the magnetoresistive element for detecting magnetic field has a laminate structure of an antiferromagnetic layer, a bonding layer of a magnetic body having a magnetization direction fixed by the antiferromagnetic layer, a nonmagnetic layer, and a free layer of a magnetic body having a magnetization direction varying by the external magnetic field. The magnetization direction of the bonding layer in the magnetoresistive element for reference is parallel or anti-parallel with the magnetization direction of the free layer under no magnetic field. The magnetization direction of the bonding layer in the magnetoresistive element for detecting magnetic field is different from the magnetization direction of the free layer under no magnetic field. Thus, it is possible to obtain a magnetic field detector whose sensitivity and resolution can be calibrated as a single unit at any time.

(57) 要約: 参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおのの、反強磁性層と前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層と非磁性層と外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層とが積層された構造を有し、前

[続葉有]

WO 2005/081007 A1



東京都千代田区丸の内二丁目2番3号三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 高橋 省吾, 外(TAKAHASHI, Shogo et al.);  
〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社 知的財産センター内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

記参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とすることにより、検出器の感度校正と分解能校正が単体でかつ随時可能な磁界検出器を得ることができる。

## 明 細 書

磁界検出器、これを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、巨大磁気抵抗効果もしくはトンネル磁気抵抗効果により磁界検出を行う磁界検出器およびこれを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] 磁気抵抗(MR:magnetoresistance)効果は、磁性体に磁界を加えることにより電気抵抗が変化する現象であり、磁界検出器や磁気ヘッドなどに利用されている。近年、非常に大きな磁気抵抗効果を示す巨大磁気抵抗(GMR:giant magnetoresistance)効果材料として、Fe/Cr、Co/Cuなどの人工格子膜などが知られている。

[0003] また、強磁性層間の交換結合作用がなくなる程度に厚い非磁性金属層を持つ強磁性層／非磁性層／強磁性層／反強磁性層からなる構造により、強磁性層／反強磁性層を交換結合させて、その強磁性層の磁気モーメントを固定しいわゆる固着層とし、他方の強磁性層のスピンのみを外部磁界で容易に反転できる自由層とした、いわゆるスピバルブ膜が知られている。反強磁性体としては、FeMn、IrMn、PtMnなどが用いられている。この場合、2つの強磁性層間の交換結合が弱く小さな磁界でスピンの反転できるので、高感度の磁気抵抗効果素子を提供できることから、高密度磁気記録用再生ヘッドとして用いられている。上記のスピバルブ膜は、膜面内方向に電流を流すことで用いられる。

[0004] 一方、膜面に対して垂直方向に電流を流す垂直磁気抵抗効果を利用すると、さらに大きな磁気抵抗効果が得られることが知られている。

さらには、強磁性層／絶縁層／強磁性層からなる3層膜において、外部磁界によって2つの強磁性層のスピンを互いに平行あるいは反平行にすることにより、膜面垂直方向のトンネル電流の大きさが異なることを利用した、強磁性トンネル接合によるトンネル磁気抵抗(TMR:tunneling magnetoresistance)効果も知られている。

[0005] 近年、GMRやTMR素子を、磁界検出器として用いる検討もされている。この場合、保磁力の異なる2つの強磁性層で非磁性金属層を挟んだ擬スピバルブ型や、前述のスピバルブ型の磁気抵抗効果素子が検討されている。磁界検出器へ利用する場合にはこれらの素子の磁性層が、外部磁界に応答して、各素子を構成する2つの磁性層の相対角を互いに变えることにより、抵抗値が变化する。この抵抗値の変化を定電流を流し、電圧の変化として信号読出しを行う。この際の読出しはGMRやTMR効果を利用して行なわれる。

[0006] ここで、TMR素子に比較しGMR素子の磁気抵抗変化率は小さく、大きな変化率を得るためには強磁性層／非磁性層の繰返し積層構造が必要となる。また、膜面に対して垂直方向に電流を流すGMR素子では、素子を長くする必要はないもののTMR素子と比較し素子抵抗が小さく、大きな出力信号を得るためには電流量を大きくする必要がある。これにより消費電力が大きくなる。さらに前述の膜面内方向に電流を流すGMR素子においては、大きな磁気抵抗効果を得るために、素子内の電流経路を十分に得る必要があり素子の長さを大きくする必要がある。

上記の理由により、磁界検出器においては、大きな出力信号が得られ任意の形状を用いることが可能なTMR素子を用いることが好ましい。

[0007] さらに、単体の磁気抵抗効果素子で測定するのではなく、4個の磁気抵抗効果素子を用いてブリッジ回路を形成し、かつ固着層の磁化方向が逆向きの素子を組み合わせ、高出力な磁界検出器を形成する技術が提案されている。(特許文献1参照)

[0008] 特許文献1:特許第3017061号

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] 上記、磁気抵抗効果素子を用いれば、磁気抵抗効果素子の電圧変化から外部磁界を測定することができる。また、上記ブリッジ回路の技術を用いれば、大きな出力信号を得ることは可能である。

しかし自由層の飽和磁界は、自由層の膜厚及び形状に依存するため、製造工程における再現性に起因するばらつきの影響を受けやすく、検出器によってばらつきが生じる。また、前述のように磁気抵抗効果素子としてはTMR素子を用いることが好ま

しいが、この場合、素子抵抗はトンネル絶縁層の膜厚に敏感であるため、出力信号は製造工程における再現性に起因するばらつきの影響を受けやすく、検出器によってばらつきが生じる。これにより、抵抗変化率および飽和磁界が変化した場合、その変化量に応じて検出される磁界に誤差が生じる。さらに、使用温度に依存しても抵抗変化率および飽和磁界は変化する。これによって検出器の感度および分解能は変化する。

従来、これらを校正するためには、磁界発生装置を用いて磁界を印加して各検出器における検出器毎の出力信号や飽和磁界を測定しておく必要があった。また、温度による素子特性の変化を校正するためには、前述の測定を各温度において実施し、出力信号を校正する必要があった。

[0010] しかし、従来型の磁界検出器においては、上記の検出感度と分解能のばらつきを簡易に検出、校正することは不可能であり、これらを実施するためには、既知の外部磁界を発生させる巨大な磁界発生装置を用いる必要があった。

[0011] それゆえ、本発明は、検出器の感度校正と分解能校正とを検出器単体で随時に行うことが可能な磁界検出器とその検出方法、およびこれを用いた物理量測定装置を提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0012] 本発明は、参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおのこの、反強磁性層と前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる固着層と非磁性層と外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる自由層とが積層された構造を有し、前記参照用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は固着層の磁化方向と自由層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とするものである。

#### 発明の効果

[0013] 上記の磁界検出器によれば、任意の時に磁界発生装置を用いることなく抵抗変化率を校正することができる。また、外部磁界が印加された状態で、無磁界における磁

界応答性を有する磁気抵抗効果素子を参照することで、同一検出器内で出力信号の比較が可能となり、素子の感度が変化した場合においても、安定した出力信号を得ることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0014] [図1]磁気抵抗効果素子の自由層および固着層の磁化方向を説明する図である。
- [図2]磁気抵抗効果素子の素子抵抗の外部磁界依存性を説明する図である。
- [図3]実施の形態1の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図4]実施の形態1の磁界検出器の磁気抵抗効果素子の断面構造の模式図である。
- [図5]実施の形態1の磁界検出器の出力信号を説明するための図である。
- [図6]実施の形態2の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図7]実施の形態3の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図8]実施の形態4の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図9]実施の形態4の他の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図10]実施の形態5の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図11]実施の形態5の他の磁界検出器の構成を説明するための上面図である。
- [図12]実施の形態6の電流検出装置を説明するための斜視図である。
- [図13]実施の形態7の位置検出装置を説明するための斜視図である。
- [図14]実施の形態8の回転検出装置を説明するための側面図である。
- [図15]実施の形態9の磁界検出器の構成を説明するための図である。
- [図16]実施の形態9の差分増幅回路の一例を説明するための回路図である。
- [図17]実施の形態10の磁界検出器の構成を説明するための図である。
- [図18]実施の形態10の出力波形を示す図である。
- [図19]実施の形態11の磁界検出器の構成を説明するための図である。
- [図20]乗除算回路の一例を説明するための回路図である。
- [図21]実施の形態12の磁界検出器の構成を説明するための図である。
- [図22]実施の形態13の磁界検出器の構成を説明するための図である。
- [図23]磁気抵抗効果素子の素子抵抗の外部磁界依存性を説明する図である。
- [図24]加算回路の一例を説明するための回路図である。

## 符号の説明

- [0015] 1、41 検出用素子、2、12、22、32 無磁界における第2の磁性層の磁化方向、2a、32a 磁界が印加された場合の第2の磁性層の磁化方向、3、13、23、33 第1の磁性層の磁化方向、4、7、8、14、16、24、26、34、36、44、77、88、110 金属配線、5 磁気シールド、6 磁界印加用の金属配線、11、21、51 参照用素子、31 飽和磁界検出用素子、52 磁気抵抗効果素子、61 基板、62、67 配線層、63 反強磁性層、64 第1の磁性層、65 非磁性層、66 第2の磁性層、100 被測定物、102 配線、103、104 磁石、105 歯車、106 歯車の歯、109 素子周辺回路、110 配線、201 抵抗電圧変換回路、202 加減算増幅回路、203 乗除算回路、204 定電流源、205 加算回路、206 減算回路、207 差分増幅回路、208、209 定電圧源、210 出力調整回路、211 校正用素子、221 スイッチ、230、231、232、233 反転増幅回路、240、241、242、243、245 OPアンプ、250、251、252、253、255 抵抗、260 トランジスタ。

## 発明を実施するための最良の形態

- [0016] まず、スピバルブ型磁気抵抗効果素子を用いた磁界検出器の具体的な検出動作について、図1を参照して説明する。図1は磁気抵抗効果素子52の自由層および固着層の磁化方向を示す模式図である。図1においてはスピバルブ型磁気抵抗効果素子の自由層の磁化方向2と固着層の磁化方向3が $90^\circ$  の方向である。このスピバルブ型磁気抵抗効果素子の固着層の磁化方向3に沿った方向に磁界が印加されると、自由層の磁化は外部磁界によりその方向を変化させる。この際、変化した自由層の磁化方向2aと固着層の磁化方向3がなす角に応じて、磁気抵抗効果素子の抵抗値は線形に変化する。
- [0017] 具体的には固着層の磁化方向3を $0^\circ$  とし、それに対して外部磁界Hが印加された際に自由層の磁化方向2aのなす角を $\theta$ とした場合、素子抵抗の変化は $\cos \theta$  に反比例する。自由層が一軸異方性を持った軟磁性膜である場合、 $\cos \theta = |H_k| / H$  となる。つまり、 $|H_k|$  より大きな外部磁界が印加された場合は、自由層の磁化方向2aは固着層の磁化方向に平行あるいは反平行に固定されてしまい、これ以上素子抵抗は変化しない。つまり、 $H_k$  は自由層の飽和磁界である。

[0018] この結果、素子抵抗 $R$ は図2に示すように自由層の磁化方向2と固着層の磁化方向3が $90^\circ$ の方向である場合には、

$$R = R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k| \quad (\text{ただし、} -|H_k| \leq H \leq |H_k|)$$

となる。ここで $R_m$ は素子抵抗がとり得る最大の抵抗値と最小の抵抗値との中間値であり、無磁界中での素子抵抗である。また、 $\Delta R$ は素子の磁気抵抗変化率である。この素子抵抗 $R$ は外部磁界に比例するため、素子抵抗を得ることにより外部磁界の大きさを検出することが可能である。なお、検出される外部磁界は、固着層の磁化方向3の方向成分である。また、固着層の磁化方向において検出可能な磁界領域、すなわち動作領域は $-|H_k| \leq H \leq |H_k|$ である。

上記の外部磁界に依存した素子抵抗により、素子を流れる電流もしくは電圧により磁界を検出することができる。

[0019] 以下、本発明の実施の形態について、その具体例を図にもとづいて説明する。

[0020] 実施の形態1.

図3は、本発明の実施の形態1における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は1個の検出用磁気抵抗効果素子1(以下、検出用素子と表記する。)と1個の参照用磁気抵抗効果素子11(以下、参照用素子と表記する。)を有している。それぞれの素子1、11の断面構造の模式図を図4に示す。図4において、基板61上に配線層62が形成され、次に反強磁性層63が形成されている。次にこの反強磁性層63により磁化方向が固定された磁性体からなる第1の磁性層64(固着層)が形成されている。さらに、トンネル絶縁層となる非磁性層65を形成し、その上層に外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる第2の磁性層66(自由層)が形成されている。第2の磁性層66の上層には配線層67が形成されている。ここでは、反強磁性層63、第1の磁性層64、非磁性層65、第2の磁性層66が順次積層される構成を示したが、構成はこれにとらわれるものではなく、逆に第2の磁性層66、非磁性層65、第1の磁性層64、反強磁性層63の順に積層しても素子を構成することができる。

[0021] 図3では、素子1、11はともに長方形の素子形状を有している。素子1、11の縦横比は同じである必要はないが、素子1、11は素子抵抗を等しくするために同じ面積と



している。

それぞれの素子1、11の第2の磁性層66は、素子形状が長方形であるため、形状磁気異方性によりその磁化方向2、12は素子の長手方向となる。一方、検出用素子1の第1の磁性層64の磁化方向3は、無磁界における検出用素子1の第2の磁性層66の磁化方向2に対して、素子平面内で直交している。さらに、参照用素子11の第1の磁性層64の磁化方向13は、無磁界における参照用素子11の第2の磁性層66の磁化方向12と平行である。

また、それぞれの素子1、11の第1の磁性層64の磁化方向3、13はここでは同じである。

さらにそれぞれの素子1、11の第1の磁性層64と第2の磁性層66とに信号検出用の配線4、44、14、16が配線層62、67として形成接続され、検出回路へと接続されている。

[0022] それぞれの素子1、11の第1の磁性層66および第2の磁性層64は強磁性体よりなっている。強磁性体を構成する材料として、例えばCo、Fe、Co-Fe合金、Co-Ni合金、Co-Fe-Ni、Fe-Ni合金などのCo、Ni、Feを主成分として含む金属、およびNi-Mn-Sb、 $\text{Co}_2\text{-Mn-Ge}$ などの合金であればよい。

また、トンネル絶縁層である非磁性層65は、絶縁体であればよく、例えば $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2$ 、MgO等の金属の酸化物があり、弗化物であってもよい。

[0023] それぞれの素子1、11の第1の磁性層64は、前述のように、反強磁性層63と積層されることにより磁化方向を固定されている。つまり、反強磁性層63が第1の磁性層64のスピンの向きを固定することで、第1の磁性層64の磁化方向がそれぞれ3、13の方向に保たれている。この反強磁性層を構成する材料として例えばIr-Mn、Ni-Mn、Ni-O、Fe-Mn、Pt-Mnがある。

[0024] 上記のそれぞれの膜は、例えばDCマグネトロンスパッタリングにより形成される。また、例えば分子線エピタキシー(MBE)法、各種スパッタ法、化学気相成長(CVD)法、蒸着法によって形成されてもよい。

[0025] また、それぞれの素子1、11は、例えばフォトリソグラフィーにより形成する。この場合、第2の磁性層66、非磁性層65および第1の磁性層64となる膜をそれぞれ形成

後、フォトレジストによる所望のパターンを形成する。その後、イオンミリングもしくは反応性イオンエッチングにより素子の形状を得ることが可能である。また、電子線リソグラフィ、集束イオンビームによるパターンの形成であってもよい。

さらに、配線4、44、14、16は、例えばAl層よりなっている。

[0026] また、検出用素子1および参照用素子11を同一のプロセスで同一基板上に同時に形成することが望ましい。上記のような成膜法やフォトリソグラフィ法では同時に実施した場合のばらつきはきわめて小さく、磁気抵抗の測定に問題となるばらつきはほとんど発生しない。

[0027] それぞれの素子1、11の第1の磁性層の磁化方向3、13は例えば次の方法で設定する。反強磁性層と第1の磁性層の見かけ上の交換相互作用がなくなる、ブロッキング温度以上に磁界検出器を加熱し、第1の磁性層の飽和磁化を発生するための外部磁界を所望の方向に印加する。この状態でブロッキング温度以下に磁界検出器を冷却することにより、第1の磁性層において所望の磁化方向が得られる。

[0028] 本実施の形態においては、検出用素子1と参照用素子11との第1の磁性層の磁化方向3、13は平行であるため、熱処理時の印加磁界は同じ方向でよく、一様な磁界を印加することで本実施の形態の磁界検出器を形成することが可能である。

[0029] ここで、素子1、11の形状は、第2の磁性層の磁化方向が所望に規定できるのであれば、長方形である必要はない。

また、それぞれの素子1、11はTMR素子であることが好ましい。これによって大きな出力信号と素子の小型化が両立可能である。

[0030] 次に、本実施の形態の磁界検出器の検出動作について図3、5を用いて説明する。

図3に示されるそれぞれの素子1、11に、磁界検出時にそれぞれ配線4、44、14、16を介して一定電流Iが流される。ここで、外部磁界Hが第1の磁性層3、13と同じ方向に印加された場合、外部磁界Hでの検出用素子1における素子抵抗Rは式(1)となり、出力電圧Vは式(2)となる。

$$R = R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k| \quad (1)$$

$$V = I \times (R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k|) \quad (2)$$

ここで、 $R_m$  は外部から飽和磁界が印加された場合の素子抵抗、 $\Delta R$ は測定用素子1の磁気抵抗変化率、 $H_k$  は飽和磁界の強度、 $H$ は印加された外部磁界の強さ、 $I$ は測定用素子1に流される電流の強さ、 $V$ は測定用素子にかかる電圧である。

[0031] 一方、参照用素子11においては、第2の磁性層と第1の磁性層の無磁界における磁化方向12、13および外部磁界 $H$ の磁化方向は同一であるため、外部磁界 $H$ が印加された場合においても参照用素子11における第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13は同一のままであり、参照用素子11の素子抵抗は検出用素子1の抵抗の負磁界における飽和値と同じ値となる。このことから、参照用素子11において得られる素子抵抗 $R_1$ 、出力電圧 $V_1$ はそれぞれ式(3)、式(4)となる。

$$R_1 = R_m - \Delta R / 2 \quad (3)$$

$$V_1 = I \times (R_m - \Delta R / 2) \quad (4)$$

[0032] 検出用素子1と参照用素子11において得られる出力電圧の差 $\Delta V_1$ は式(5)であらわされる。

$$\Delta V_1 = I \times (1 + H / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (5)$$

この式を変形すれば、

$$H = (2 \times \Delta V_1 / I \times \Delta R - 1) \times H_k \quad (6)$$

となる。

この $V$ 、 $V_1$ 、 $\Delta V_1$ と外部磁界 $H$ および飽和磁界 $H_k$ の関係は図5のとおりとなる。

ここで、 $\Delta R / 2$ は、参照用素子11と検出用素子1の無磁界における出力信号の差であり、無磁界における出力信号の差を求めて測定時にリアルタイムに $\Delta R$ を求めることができる。つまり、測定時の温度変化等で、 $\Delta R$ が変化した場合であっても、容易に正確に $\Delta R$ を求めることができる。また、 $V$ 、 $V_1$ 、 $H_k$ は既知な値であるから、式(6)を用いて外部磁界 $H$ を求めることができる。

前述の出力信号は、検出用素子1と参照用素子11からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得ることが可能である。

[0033] 本実施の形態においてはそれぞれの素子1、11に一定電流を流したが、この電流はそれぞれの素子1、11で一定である必要はない。その場合、それぞれの素子1、11に流す電流の大きさの比が既知であれば、上記式(3)～(6)を用いて外部磁界 $H$

を求めることができる。

[0034] また、本実施の形態においては、検出用素子1の第2の磁性層の磁化方向2と第1の磁性層の磁化方向3とは素子平面内において直交していたが、直交している必要はない。第2の磁性層の磁化方向2が第1の磁性層の磁化方向1と平行もしくは反平行でなければ、外部磁界Hにより素子抵抗が変化するので、外部磁界Hを検出することができる。

[0035] また、本実施の形態では参照用素子11の第1の磁性層の磁化方向13は、無磁界における参照用素子11の第2の磁性層の磁化方向12と平行としたが、反平行でもよい。反平行であった場合は、参照用素子11の素子抵抗は検出用素子1の抵抗の正磁界における飽和値と同じ値となる。

[0036] 本実施の形態によれば、参照用素子11と検出用素子1との差動検出を用いているために大きな出力信号が得られる。また、抵抗変化率 $\Delta R$ は無磁界における検出用素子1と参照用素子11との出力信号の差から得られているため、形成時の再現性に起因する素子抵抗ばらつきをもった場合や温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号を得ることが可能である。

また、それぞれの素子1、11の第1の磁性層の磁化方向3、13は同じ方向であるので、本実施の形態の磁界検出器を容易に形成することが可能である。

[0037] さらに、参照用素子11に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

参照用素子11の磁気シールド5は高透磁率材料であればよく、例えばNiFe層よりなっている。また、Co、Ni、Feを主成分として含む他の合金であってもよい。

[0038] 磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13とが平行あるいは反平行であれば、磁化方向は任意の向きとすることができる。

[0039] 実施の形態2.

本実施の形態は、図6に示すように、実施の形態1の検出用素子1、および参照用素子11に同じ構成の素子の組み合わせを付加し、ブリッジ回路を形成したものであ

る。付加した検出用素子41は検出用素子と同一の構成を有し、また、参照用素子51は参照用素子11と同一の構成を有しているので説明を省略する。また、検出用素子1および41の第1の磁性層および第2の磁性層の磁化方向は同一である。この場合、 $\Delta V_1$ は、配線7から77へと電流を流し、配線8および88の電位差を測定することで得ることができる。

本実施の形態においては、素子をブリッジ回路として形成しているので、より大きな出力を得ることができる。

[0040] 実施の形態3.

図7は、本発明の実施の形態3における磁界検出器を示す上面図である。本実施の形態の磁界検出器は実施の形態1の磁界検出器にさらに参照用素子21を設けたものであり、実施の形態1と同一のものには同一符号を付す。それぞれの素子1、11、21は、実施の形態1と同様な積層構造である。ここでは、それぞれの素子1、11、21はともに長方形の素子形状を有している。それぞれの素子1、11、21の縦横比は同じである必要はないが、それぞれの素子1、11、21は素子抵抗を等しくするために同じ面積としている。

[0041] それぞれの素子1、11、21の第1の磁性層の磁化方向3、13、23は磁化方向3と磁化方向13とは平行であり、磁化方向13と磁化方向23とは反平行である。無磁界における検出用素子1の第2の磁性層の磁化方向2は第1の磁性層の磁化方向3に対して、素子平面内で直交している。また、参照用素子11、21の無磁界における第2の磁性層の磁化方向12、22は、それぞれの第1の磁性層の磁化方向13、23に対して、それぞれ平行および反平行である。

それぞれの素子1、11、21の第2の磁性層と第1の磁性層には信号検出用の配線4、44、14、16、24、26が接続され、検出回路へと接続されている。ここで検出用素子1に接続される配線4、44は、一方は素子の第2の磁性層側に接続されており、もう一方は第1の磁性層側に接続されている。参照用素子11、21における配線14、16、24、26も同様な位置に接続されている。

[0042] 上記の素子1、11、21はTMR素子であることが好ましい。これによって大きな出力信号と素子の小型化が両立可能である。

[0043] それぞれの素子1、11、21の第1の磁性層の磁化方向3、13、23の決定は、実施の形態1と同様に、例えば熱処理により可能である。ここでは図示しないが、例えば素子の直上もしくは直下に配線を形成し、反強磁性層と第1の磁性層の磁氣的相互作用がなくなるブロッキング温度以上において、第1の磁性層の飽和磁化を発生するための所望の向きに電流を流す。この状態でブロッキング温度以下に温度を下げることで、第1の磁性層において所望の磁化方向が得られる。この磁界は、配線に電流を流すことによって生じる磁界に限らず、局所的に磁界を印加できればよい。

[0044] 上記の第1の磁性層の磁化方向3、13、23は、例えば外部磁界を印加した状態での素子1、11に局所的な熱処理を実施して磁化方向3、13を決定し、その後逆向きの磁界を印加した状態で、素子21に局所的な熱処理を実施し磁化方向23を決定することでも形成可能である。

[0045] 次に、本実施の形態の磁界検出器における動作について図7を用いて説明する。

図7に示されるそれぞれの素子1、11、21に、磁界検出時にそれぞれ配線4、14、24を介して素子に一定電流Iが流される。この際、外部磁界Hでの検出用素子1における素子抵抗は式(1)で、出力電圧は式(2)で求められる。ここで、参照用素子11においては、第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13は平行であり、参照用素子21においては、第2の磁性層の磁化方向22と第1の磁性層の磁化方向23は反平行である。このため、それぞれ参照用素子11、21は検出用素子1の抵抗の正負磁界における飽和値と同じ値となる。この参照用素子11、21において得られる出力電圧 $V_1$ 、 $V_2$ はそれぞれ式(5)、式(6)であらわされる。

$$V_1 = I \times (R_m - \Delta R / 2) \quad (7)$$

$$V_2 = I \times (R_m + \Delta R / 2) \quad (8)$$

[0046] これにより検出用素子1と参照用素子11において得られる出力電圧の差 $\Delta V_1$ は次のとおりとなる。

$$\Delta V_1 = I \times (1 + H / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (9)$$

同様に検出用素子1と参照用素子21において得られる出力電圧の差 $\Delta V_2$ は次のとおりとなる。

$$\Delta V_2 = I \times (1 - H / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (10)$$

さらに  $\Delta V_1$  と  $\Delta V_2$  の差は次のとおりとなる。

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = I \times \Delta R \times H / |H_k|$$

- [0047] ここで、 $\Delta R$ は、2個の参照用素子11、21のそれぞれ出力信号の差によりその都度求めることができる。これは、本実施の形態の素子の飽和磁界は一定の既知の値であり、飽和磁界における、磁気抵抗を求めることにより、抵抗変化率を求めることができるためである。そのため、素子間の抵抗値のばらつきや温度による抵抗値の変化などの影響により抵抗変化率が変化しても、測定の都度、参照用素子11、21の出力から抵抗変化率を求めることができ、実使用の環境下における抵抗変化率を用いて精度よく外部磁界を検出することが可能となる。

前述の出力信号は、検出用素子1と参照用素子11、21からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得ることが可能である。

- [0048] 本実施の形態においてはそれぞれの素子1、11、21に一定電流を流したが、この電流はそれぞれの素子1、11、21で一定である必要はない。その場合、それぞれの素子1、11、21に流す電流の大きさの比が既知であれば、上記式を用いて外部磁界Hを求めることができる。

- [0049] 本実施の形態によれば、2個の参照用素子11、21と検出用素子1との差動検出を用いているために大きな出力信号が得られる。

さらに、本実施の形態においては、抵抗変化率 $\Delta R$ は参照用素子11、21の出力信号から得られているため、形成時の再現性に起因して素子抵抗ばらつきをもった場合および温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号が得られる。

また、検出用素子1の出力信号の最大値と最小値の両者が得られているために、さらに高い信頼性と精度が得られる。

- [0050] また、参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5は実施の形態1と同様の材料からなる。

- [0051] 磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21は外部シールド5により外部

磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子11の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13の方向が平行でかつ、参照用素子21の第2の磁性層の磁化方向22と第1の磁性層の磁化方向23の方向が反平行であれば、参照用素子11、21の第2の磁性層の磁化方向12、13は任意の向きとすることができる。

[0052] また、 $\Delta V_1$ と $\Delta V_2$ は、実施の形態2と同様な方法で、検出用素子1と参照用素子11、21を用いてブリッジ回路を構成することでも検出可能である。

[0053] 実施の形態4.

図8は、本発明の実施の形態4における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は、図3および実施の形態1の構成に加え、検出用素子1に磁界を印加するための配線6を備えている。この配線6は例えば検出用素子1の直上に第2の磁性層の磁化方向2に平行に配置されている。なお、図3と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。

[0054] ここでは、あらかじめ無磁界において、検出用素子1の直上に配置された配線6に一定の電流を流す。これにより検出用素子1に既知の磁界を印加することができる。この際、検出用素子1の第2の磁性層の磁化方向は印加された磁界により磁化方向2aに印加された磁界に応じて回転する。

配線6に流れた電流により磁界 $H'$ を印加し、検出用素子1に一定電流 $I$ を流した場合では、検出用素子1における出力電圧 $V_3$ は次のようになる。

$$V_3 = I \times (R_m + \Delta R / 2 \times H' / |H_k|) \quad (11)$$

同様に参照用素子11に一定電流 $I$ を流した場合の出力電圧は式(4)より求めることができるので、その出力電圧の差は次のようになる。

$$V_3 - V_1 = I \times (1 + H' / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (12)$$

ここで、 $H'$ および $I$ は既知の値であり、 $H_k$ が既知であれば、式(12)を用いて、 $\Delta R$ を精度良く求めることができる。また、 $H_k$ が既知でない場合においては、 $\Delta R$ は実施の形態1において説明した方法で、検出用素子1と参照用素子11との無磁界における出力信号の差で求めれば、既知の値である $I$ および $H'$ を用いて、式(12)から $H_k$ を求めることが可能となる。外部磁界がない条件下では、配線電流磁界 $H'$ は1点であっても飽和磁界は検出可能である。



- [0055] 上記の飽和磁界の検出は無磁界中である必要ではなく、外部磁界が印加された状態であっても、それが変化しなければ、異なる2点の配線電流磁界、例えば $-H'$ 、 $+H'$ を印加することで実施可能である。この検出は外部磁界の測定前や測定時の温度が変化した場合など、必要に応じて実施すればよい。
- [0056] 上記の方法で求めた飽和磁界を用いて、外部磁界の検出は、実施の形態1と同様な方法で行えばよい。
- [0057] ここで飽和磁界は、図6および実施の形態2と同様の方法で、検出用素子1と参照用素子11を用いてブリッジ回路を構成することでも検出可能である。
- [0058] 上記の出力信号は、検出用素子1と参照用素子11からそれぞれ得られる出力信号を数値信号に変換した後に、数値的に演算処理することでも得られる。
- [0059] 本実施の形態によれば、検出用素子1に外部磁界を任意に印加できる構成とすることにより、飽和磁界の検出が外部磁界を要せずに可能となる。そのため、検出器のみで必要に応じて随時飽和磁界を検出できる。これにより外部の磁界発生器を用いず、かつ必要に応じて検出器の分解能を校正することが可能となる。
- [0060] さらに、図9に示すように、図7の構成に加え、検出用素子1に磁界を印加するための配線6を配置することも可能である。なお、図9において、図7と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。このようにすれば、図7の構成においても検出用素子1の第2の磁性層の飽和磁界を外部磁界を要せずに検出することが可能である。
- [0061] また、図8、図9において参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。
- 磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21の第2の磁性層の磁化方向は任意の向きとすることができる。
- [0062] 実施の形態5.
- 図10は、本発明の実施の形態5における磁界検出器を示す上面図である。ここに示す磁界検出器は、図3および実施の形態1で示した検出器と同様な構成に加え、外部磁界に対して検出用素子1と同じ磁気抵抗効果特性を示す飽和磁界検出用磁気抵抗効果素子(以下飽和磁界検出用素子と表記する)31を備えている。ここでは、検出用素子1と飽和磁界検出用素子31とは同一の形状を有するように作成している。

。

なお、飽和磁界検出用素子31は検出用素子1と同じ磁気抵抗効果特性を有しておればよく特に配置についての制限はない。なお、図3と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。

また、磁界印加用の配線6を飽和磁界検出用素子31の直上に配置しており、この配線6は例えば検出用素子1の直上に第2の磁性層の磁化方向2に平行に配置されている。

[0063] また、検出用素子1、参照用素子11および飽和磁界検出用素子31を同一のプロセスで同一基板上に同時に形成することが望ましい。上記のような成膜法やフォトリソグラフィ法では同時に実施した場合のばらつきはきわめて小さく、磁気抵抗の測定に問題となるばらつきはほとんど発生しない。

[0064] 次に、本実施の形態の磁界検出器における検出動作について説明する。

磁界検出の動作は、実施の形態1での検出動作と同様である。

さらに、実施の形態4に記載と同様な方法により飽和磁界検出用素子31の第2の磁性層の飽和磁界を検出することができる。検出用素子1と飽和磁界検出用素子31とは同じ磁気抵抗効果特性を有しているので、飽和磁界検出用素子31の飽和磁界を求めることにより、検出用素子1の飽和磁界を求めることが可能とある。

[0065] 本実施の形態によれば、検出用素子1と第2の磁性層の飽和磁界を得るための飽和磁界検出用素子31とが独立であるため、外部磁界の検出を行いつつ、随時飽和磁界の検出が可能である。そのため、外部磁界を検出中の飽和磁界を求めることができるので測定中の分解能校正が可能となり、さらに精度よく外部磁界を測定することができる。

また、外部磁界の測定を中断することなく、磁界検出器の分解能校正を行うことが可能となる。

[0066] 図11に示すように、図7の構成に加え、飽和磁界検出用素子31を備えることも可能である。なお、図11において、図7と同一の構成は同一符号を付し、説明を省略する。このようにすれば、図7の構成においても検出用素子1の第2の磁性層の飽和磁界を外部磁界の測定中に外部磁界を要せずに検出することが可能である。

[0067] また、図10、図11において参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21の第2の磁性層の磁化方向は任意の向きとすることができる。

[0068] 実施の形態6.

図12は、本実施の形態における電流検出装置を示す斜視図である。ここに示す電流検出装置は、例えば図3および実施の形態1に示した磁界検出器を用いた電流検出装置であり、被測定電流が流れる配線102から、一定の距離が保たれて配置されている。ここでは検出用素子1のみしか図示しないが、電流検出装置は実施の形態1に示した部材を全て備えており、出力検出及び信号処理をするための周辺回路109を備えている。また、電力供給用及び信号を外部機器に出力するための配線110を備えている。

[0069] 電流検出装置内に配置されている検出用素子1は、被測定電流が流れる配線102から発生する外部磁界の方向と検出方向が一致するように配置されている。具体的には、検出用素子1の第1の磁性層の磁化方向と外部磁界の方向を一致させればよい。

[0070] 次に、本実施の形態の電流検出装置における電流検出動作について説明する。

被測定電流 $i$ が配線102に流れると、電流の作用により配線と垂直な方向に環状磁界が発生する。この磁界 $H$ の大きさは、 $H=k \times i/R$ で表される。 $k$ は比例定数で $R$ は配線からの距離である。ここで、電流検出装置内の検出用素子1と配線との距離を測定しておけば、比例定数 $k$ は既知であるので、実施の形態4で示した磁界検出器により磁界 $H$ を測定することにより配線電流 $i$ を検出することが可能である。この際、電流検出装置を動作するための電力は配線110を介して供給され、検出信号は周辺回路109及び配線110を介して例えば表示装置などの外部機器へと出力される。

また、他の実施の形態の磁界検出器を電流検出器に用いることももちろん可能である。

[0071] 本実施の形態によれば、本発明で示された磁界検出器を用いているために、電流検出において温度の変化および検出器毎の特性ばらつきがあつた場合でも、安定し

た出力信号が得られかつ検出器の分解能を校正することが可能なため、高精度な電流検出を行うことができる。

[0072] 実施の形態7.

図13は、本実施の形態における位置検出装置を示す斜視図である。ここに示す位置検出器は、例えば図3および実施の形態1に示した磁界検出器を用いた位置検出装置であり、被測定物100には周期的に磁石103が備えられている。なお、被測定物100に磁石103が設けられた部位の一部をここでは図示している。この磁石は例えば隣接する磁石同士が逆の極性を有している。ここでは検出用素子1のみしか図示しないが、位置検出器は例えば図3および実施の形態1に示した部材を全て備えており、実施の形態6と同様に、出力検出及び信号処理をするための周辺回路109を備えている。また、電力供給用及び信号を外部機器に出力するための配線110を備えている。

[0073] 次に、本実施の形態の位置検出装置における位置検出動作について説明する。

被測定物が移動すると、そこに備えられた磁石103からの磁束により、位置検出器における磁界が変化する。被測定物は周期的に磁石103を備えているために、この移動による検出器における磁界の変化を検出することにより、位置検出器を通過した磁石を計数することが可能である。実施の形態6と同様に、電流検出装置を動作するための電力は配線110を介して供給され、検出信号は周辺回路109及び配線110を介して外部機器へと出力される。これにより被測定物の移動量を測定することが可能となる。これは、直線的に移動するものに限らず、例えば、回転体の回転量を検出することも可能である。

また、他の実施の形態の磁界検出器を位置検出器に用いることももちろん可能である。

[0074] 本発明の位置検出器はこの構成に限定されるものではなく、被測定物からの磁束の変化を検出できる構成であれば良い。

[0075] 本実施の形態によれば、本発明の磁界検出器を用いているために、位置検出において温度の変化および検出器毎の特性ばらつきがあつた場合でも、安定した出力信号が得られかつ検出器の分解能を校正することが可能であり、高精度な位置検出を

行うことができる。

[0076] 実施の形態8.

図14は、本実施の形態における回転検出器を示す側面図である。ここに示す回転検出器は、例えば図3および実施の形態1に示した磁界検出器および被測定物の方向に着磁した永久磁石104を備えている。被測定物は透磁率の大きな軟磁性体からなる例えば歯車105である。ここでは検出用素子1のみしか図示しないが、回転検出器は例えば図3および実施の形態1に示した部材を全て備えており、実施の形態6と同様に、出力検出及び信号処理をするための周辺回路109を備えている。また、電力供給用及び信号を外部機器に出力するための配線110を備えている。

[0077] 検出用素子1は、永久磁石104および歯車105により発生する外部磁界を検出できる方向に配置されている。例えば、検出用素子1の第1の磁性層の磁化方向は歯車105の中心方向である。

[0078] 次に、本実施の形態の回転検出器における回転検出動作について説明する。

本回転検出器は被測定物方向に着磁した永久磁石104を備えているために、被測定物である歯車105の歯106は、磁石104からの磁束により磁化する。この磁化した歯106により歯車105が回転した場合、磁界検出器101における磁界が変化する。この歯106の回転による磁界の変化を検出することにより、磁界検出器101を通過した歯の数を計数することが可能である。これにより被測定物の回転量を測定することが可能となる。実施の形態6と同様に、電流検出装置を動作するための電力は配線110を介して供給され、検出信号は周辺回路109及び配線110を介して外部機器へと出力される。これは、回転運動するものに限らず、例えば、直線的に移動する被測定物の移動量を検出することも可能である。

[0079] 本発明の回転検出器はこの構成に限定されるものではなく、被測定物からの磁束の変化を検出できる構成であれば良い。

[0080] 本実施の形態によれば、被測定物に磁界検出用の磁石を設置する必要がなく、高精度な位置検出を行うことができる。また、回転体が透磁率の大きな軟磁性体で歯車形状を有していれば、既存の回転体を利用可能である。

[0081] 実施の形態9.

図15は、実施の形態1の図3の具体的な磁界検出器の回路構成の例を示したもので、本発明の実施の形態9における磁界検出器の回路ブロック図である。図15にもとづいて、本実施の形態の構成について説明する。ここに示す磁界検出器は、実施の形態1の磁界検出器を含んだ回路構成の例であって、1個の検出用素子1と1個の参照用素子11を有している。回路に含まれる素子1、11の構造と作製方法については、実施の形態1と同様である。

[0082] 本実施の形態の磁界検出器は、抵抗電圧変換回路201と、加減算増幅回路202とから構成される。

抵抗電圧変換回路201は、素子1、11に定電流回路204をそれぞれ接続することで構成されている。また、加減算増幅回路202は検出用素子1と参照用素子11とから得られる出力電圧を差分増幅する差分増幅回路207からなり、検出用素子1と参照用素子11とから得られる出力電圧の差分にもとづいた電圧を出力する。差分増幅回路207は、例えば図16に示すようなOPアンプ245と抵抗245とからなる回路で構成される。ここで図面の同一記号は同様のOPアンプと抵抗である。

[0083] 次に、本実施の形態の磁界検出回路の検出動作について図15を用いて説明する。

抵抗電圧変換回路201では、素子1、11に定電流回路204がそれぞれ接続されており、磁界検出時にそれぞれ一定電流 $I$ が流される。外部磁界 $H$ での検出用素子1からの出力電圧は式(2)となる。ここで、参照用素子11においては、第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13は平行であり、その抵抗値は検出用素子の抵抗の負磁界における飽和値と同じ値になる。この検出用素子1、参照用素子11において得られる出力電圧 $V$ 、 $V_1$ はそれぞれ式(2)、式(4)であらわされる。

$$V = I \times (R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k|) \quad (2)$$

$$V_1 = I \times (R_m - \Delta R / 2) \quad (4)$$

[0084] 加減算増幅回路202は、検出用素子1と参照用素子11において得られる出力電圧を差分増幅する。いま、加減算増幅回路202の増幅率を $\alpha$ と設定すると、出力電圧 $V_{out}$ は、式(5)および増幅率 $\alpha$ から、次のようになる。

$$V_{out} = \alpha \times I \times (1 + H / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (13)$$

このうち、 $\alpha$ 、 $I$ 、 $|H_k|$  は設定値で既知であり、 $\Delta R$ は無磁界における検出用素子1と参照用素子11との出力信号の差から得ることができるので、出力電圧 $V_{out}$ と $H$ の対応がつく。例えば、外部磁場が0における $V_{out}$ は以下の値をとる。

$$V_{out} = \alpha \times I \times \Delta R / 2 \quad (14)$$

ここで、例えば出力電圧 $V_{out}$ が1Vとなるように $\alpha = 2 / (I \times \Delta R)$ と設定すると、 $V_{out} = (1 + H / |H_k|)$ となり、 $H = -|H_k|$ のとき $V_{out} = 0V$ 、 $H = |H_k|$ のとき $V_{out} = 2V$ となるよう回路を構成できる。

[0085] 本実施の形態によれば、参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、抵抗電圧変換回路において参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分を増幅する加減算増幅回路とを有している。

[0086] そのため、参照用素子11と検出用素子1との出力を用いて差動検出を行うことが出来るので大きな出力信号が得られる。また、抵抗変化率 $\Delta R$ は無磁界における検出用素子1と参照用素子11との出力信号の差から得ているため、形成時の再現性に起因する素子抵抗ばらつきをもった場合や温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号を得ることが可能である。

[0087] また、増幅率 $\alpha$ を適宜設定することで、所望の出力電圧を得ることができる。

さらに、実施の形態1で述べたように参照用素子11に外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

参照用素子11の磁気シールド5は高透磁率材料であればよく、例えばNiFe層よりなっている。また、Co、Ni、Feを主成分として含む他の合金であってもよい。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13とが平行あるいは反平行であれば、磁化方向は任意の向きとすることができる。

[0088] さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路を設けることにより、非常に簡単な回路構成で、動作する磁界検出器を構成することができる。

また、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を、同一基板上に設けら

れた磁気抵抗素子、バイポーラトランジスタ、抵抗素子などを用いて構成することにより、外部からのノイズや加減算増幅回路に含まれるトランジスタや抵抗の温度変化などによる影響を抑えることが可能となる。抵抗については、温度による抵抗率の変化が小さい材料、例えば金属酸化物薄膜を利用した抵抗器などで構成することが望ましい。

[0089] 実施の形態10.

図17は、本発明の実施の形態10における磁界検出回路を示す回路ブロック図である。ここに示す磁界検出回路は実施の形態9の磁界検出回路に、検出用素子1に磁界を印加するための配線6および磁界印加のための回路を備えたものである。検出用素子1に磁界を印加するための配線6および磁界印加のための回路以外は、実施の形態9と同様であるため、説明を省略する。

図17に示される磁界検出回路では、検出用素子1に電流磁場を印加する配線6には、定電流源220とスイッチ221が設けられている。スイッチ221は、例えば半導体スイッチを用いて、磁界検出回路外部からの入力信号に同期して切り替えられるように構成されている。

[0090] 次に、本実施の形態の磁界検出回路の検出動作について説明する。まず、外部磁界 $H$ が印加されている状態で、スイッチ221がオフの場合、加減算回路207の増幅率を $\alpha$ とすると、式(9)を参照して、出力電圧 $V_{out}$ は式(15)で記述される。

$$V_{out}(H) = \alpha \times I \times (1 + H / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (15)$$

次に、スイッチ221がオンの場合、定電流回路220によって流れた電流によって電流磁場 $H'$ が生じるため、出力電圧 $V_{out}$ は、以下のように記述できる。

$$V_{out}(H + H') = \alpha \times I \times (1 + (H + H') / |H_k|) \times \Delta R / 2 \quad (16)$$

$$V_{out}(H + H') - V_{out}(H) = \alpha \times I \times \Delta R / 2 \times H' / |H_k| \quad (17)$$

となる。ここで $\alpha$ 、 $I$ 、 $H'$ は既知であるため、出力信号の差は $H_k$ および $\Delta R$ の関数となる。

例えば $H_k$ が既知であるとするならば、出力信号の差から $\Delta R$ を求めることができる。また、例えば外部磁場が0のときの値から $\Delta R$ を求めれば、 $H_k$ を求めることができる。また、 $\alpha = 2 / (I \times \Delta R)$ と設定すると、



$$V_{out}(H) = 1 + H / |H_k| \quad (18)$$

$$V_{out}(H+H') = 1 + (H+H') / |H_k| \quad (19)$$

となる。出力波形の例を図18に示す。このように、出力される $V_{out}$ の差から $H' / |H_k|$ が求まり、 $|H_k|$ を求めることができる。

[0091] 本実施の形態によれば、検出用素子に外部磁界を任意に印加できる構成とすることにより、飽和磁界の検出が外部磁界を要せずに可能となる。そのため、検出器のみで必要に応じて随時飽和磁界を検出できる。これにより外部の磁界発生器を用いず、かつ必要に応じて検出器の分解能を校正することが可能となる。

[0092] また、本実施の形態によれば、参照用素子11と検出用素子1との差動検出を用いているために大きな出力信号が得られる。また、抵抗変化率 $\Delta R$ は無磁界における検出用素子1と参照用素子11との出力信号の差から得られているため、形成時の再現性に起因する素子抵抗ばらつきをもった場合や温度に起因して素子の抵抗値が変化した場合においても安定した出力信号を得ることが可能である。

[0093] また、それぞれの素子1、11の第1の磁性層の磁化方向3、13は同じ方向であるので、本実施の形態の磁界検出器を容易に形成することが可能である。

さらに、参照用素子11に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

参照用素子11の磁気シールド5は高透磁率材料であればよく、例えばNiFe層よりなっている。また、Co、Ni、Feを主成分として含む他の合金であってもよい。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13とが平行あるいは反平行であれば、磁化方向は任意の向きとすることができる。

[0094] さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路を設けることにより、非常に簡単な回路構成で、動作する磁界検出器を構成することができる。

また、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を、同一基板上に設けられた磁気抵抗素子、バイポーラトランジスタ、抵抗素子などを用いて構成することにより、外部からのノイズや加減算増幅回路に含まれるトランジスタや抵抗の温度変化な

どによる影響を抑えることが可能となる。抵抗については、温度による抵抗率の変化が小さい材料、例えば金属酸化物薄膜を利用した抵抗器などで構成することが望ましい。

[0095] 実施の形態11.

図19は、本発明の実施の形態11における磁界検出回路を示す回路ブロック図である。ここに示す磁界検出回路は実施の形態3の磁界検出器を含んだ回路構成の例であって、検出用素子1と参照用素子11、21を有している。回路に含まれる素子1、11、21の構造と作製方法については、実施の形態3と同様である。

[0096] 本実施の形態の磁界検出回路は抵抗電圧変換回路201と、加減算増幅回路202と、乗除算回路203から構成される。

抵抗電圧変換回路201は実施の形態9と同様に素子1、11、21に定電流回路204をそれぞれ接続することで構成されている。

加減算増幅回路202は、検出用素子1と参照用素子11、12において得られる出力電圧を差分増幅する回路である。本実施の形態においては、参照用素子11、21に接続され、それぞれの出力電圧の差 $V_-$ を乗除算回路203に出力する減算回路206と、検出用素子1と参照用素子11とに接続され、それぞれの出力電圧 $V_1$ と $V_-$ の差である $\Delta V_1$ を乗除算回路203に出力する差分増幅回路207とからなっている。減算回路206および差分増幅回路207は例えば図16に示すようなOPアンプと抵抗とからなる回路で構成される。

乗除算回路203は入力に対して除算を行う回路であり、3つの入力 $\Delta V_1$ と $V_-$ と電圧源208からの変換用電圧 $V_a$ に対して、 $\Delta V_1 \times V_a / V_-$ を出力する回路となっている。ここで、図20に内部等価回路の1例を示す。この等価回路はOPアンプ245と抵抗245とトランジスタ260とからなる回路で構成される。ここで図面の同一記号は同様のOPアンプと抵抗とトランジスタである。

[0097] 次に、本実施の形態の磁界検出回路の検出動作について図19を用いて説明する。抵抗電圧変換回路201では、素子1、11、21にそれぞれ一定電流 $I$ が流される。外部磁界 $H$ での検出用素子1における出力電圧は式(2)となる。ここで、参照用素子11においては、第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13は平行で

あり、参照用素子21においては、第2の磁性層の磁化方向22と第1の磁性層の磁化方向23は反平行である。このため、それぞれ参照用素子11、21は検出用素子1の抵抗の正負磁界における飽和値と同じく式(7)、式(8)となる。この検出用素子1、参照用素子11、21においてそれぞれ式(2)、式(7)、式(8)であらわされる出力電圧 $V$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ を加減算増幅回路202に出力する。

$$V = I \times (R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k|) \quad (2)$$

$$V_1 = I \times (R_m - \Delta R / 2) \quad (7)$$

$$V_2 = I \times (R_m + \Delta R / 2) \quad (8)$$

[0098] 加減算増幅回路202では、検出用素子1と参照用素子11、21において得られる出力電圧を差分増幅する。本実施の形態においては、参照用素子11と21において得られる出力電圧の差 $V_-$ と、 $\Delta V_1$ の増幅値を出力する。このとき、例えば、減算回路206の増幅率を $\alpha$ 、差分増幅回路207の増幅率を $\alpha$ と設定することで、差分増幅回路207からの出力は式(9)より次のとおりとなる。

$$\alpha \times \Delta V_1 = \alpha \times I \times \Delta R \times (1 + H / |H_k|) / 2 \quad (20)$$

同様に、減算回路206からの出力は次のようになる。

$$V_- = \alpha (V_2 - V_1) = \alpha \times I \times \Delta R \quad (21)$$

[0099] 乗除算回路203は、入力に対して除算を行う回路であり、3つの入力 $\Delta V_1$ と $V_-$ と $V_a$ に対して、 $\Delta V_1 \times V_- / V_a$ を出力する。

このとき、式(2)、(20)、(21)により、磁場 $H$ を印加したときの測定用素子両端の電位差 $V$ に対して、次式が成立する。

$$V_{out} = \Delta V_1 \times V_- / V_a = V_a \times (1 + H / |H_k|) / 2 \quad (22)$$

ここで $|H_k|$ および $V_a$ は既知の値であるから、出力電圧が求まれば、外部磁場 $H$ を求めることができる。

$V_a$ は、出力電圧の大きさを決めるように任意に設定できる。このとき、外部磁場 $H$ が $H = -|H_k|$ から $H = |H_k|$ まで変化するとき、 $V_{out}$ は $V_{out} = 0V$ から $V_{out} = V_a$ となるような回路が得られる。

[0100] さらに、外部磁場がある方向の時に正の出力、逆の方向の時に負の出力が得られることが必要な場合には、この出力から $V_a / 4$ を減算する出力調整回路210を追加

すればよい。この出力調整回路210の内部回路は、例えば図16に示した差分増幅回路でよく、減算するための定電圧源209と接続されている。式(22)より、次式を得る。

$$V_{out} = \Delta V_1 \times V_a / V_a - V_a / 4 = V_a \times (1/2 + H / |H_k|) / 2 \quad (23)$$

これにより、外部磁場Hが $H = -|H_k|$  から  $H = |H_k|$  まで変化するとき、 $V_{out}$  が  $V_{out} = -V_a / 2$  から  $V_{out} = V_a / 2$  となるような回路が得られる。より具体的には、 $V_a = 2V$  とすることで、 $H = |H_k|$  のときの出力電圧は1Vで  $H = -|H_k|$  のときの出力電圧は-1Vとなるように設定できる。

[0101] 本実施の形態の磁界検出回路では、第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗および磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、抵抗電圧変換回路において第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分および第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分を増幅し、それぞれ第1の電圧および第2の電圧として出力する加減算増幅回路と、第1の電圧と前記第2の電圧の除算を第3の電圧として出力する乗除算回路とを有している。

[0102] そのため、参照用素子11と、検出用素子1との出力を用いて差動検出することができるために大きな出力信号が得られる。また、素子間の抵抗値のばらつきや温度による抵抗値の変化などの影響により抵抗変化率が変化しても、参照用素子11、21の実使用の環境下における抵抗変化率を用いて自動的に補正されるため、精度よくかつ瞬時に外部磁界を検出することが可能となる。

[0103] さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を設けることにより、簡単な回路構成で、かつ非同期で動作する磁界検出器を構成することができる。

また、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を、同一基板上に設けられた磁気抵抗素子、バイポーラトランジスタ、抵抗素子などを用いて構成することにより、外部からのノイズや加減算増幅回路、乗除算回路に含まれるトランジスタや抵抗の温度変化などによる影響を抑えることが可能となる。

使用する抵抗器については、温度による抵抗率の変化が小さい材料、例えば金属

酸化物薄膜を利用した抵抗器などで構成することが望ましい。

- [0104] また、参照用素子11、21に、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5は実施の形態1と同様の材料からなる。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子11の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13の方向が平行でかつ、参照用素子21の第2の磁性層の磁化方向22と第1の磁性層の磁化方向23の方向が反平行であれば、参照用素子11、21の第2の磁性層の磁化方向12、13は任意の向きとすることができる。

- [0105] なお、本実施の形態では抵抗電圧変換回路201に定電流源を3つ用いているが、1つの電源に検出用素子1と参照用素子11、21とを直列に接続してもよい。

また、本実施の形態で示された加減算増幅回路における増幅率は一例であって、異なる増幅率の組み合わせであっても、所望の出力が得られるように構成できることは言うまでもない。

また、本実施例では回路図の理解が容易になるよう、定電圧源208、209を別の定電圧源として記述しているが、例えば $V_{cc}$ のような外部電圧を抵抗分割して得ても良いことは言うまでも無い。

- [0106] 実施の形態12.

実施の形態12は、実施の形態11の変形例である。第1の磁性層の磁化方向と第2の磁性層の磁化方向が平行でかつ互いに等しい外部磁界応答特性を持つ2個の参照用素子11a、11bと、第1の磁性層の磁化方向と第2の磁性層の磁化方向が反平行であり、参照用素子11aと同じ特性を持つ参照用素子21を備えている。このように3個の参照用素子11a、11b、21と検出用素子1とを用いて図21に示すような回路を構成することによって、磁界検出回路を得ることができる。

- [0107] 以下、この回路構成について説明する。本実施の形態の磁界検出回路は抵抗電圧変換回路201、加減算増幅回路202a、202bおよび乗除算回路203を有している。

検出用素子1は抵抗250およびOPアンプ240とともに反転増幅回路230を形成し

ている。抵抗250の一端は定電圧源(図示せず)に接続されている。参照用素子11a、11b、21もそれぞれ抵抗251、252、253およびOPアンプ241、242、243と反転増幅回路231、232、233を形成している。抵抗251、252、253の一端は抵抗250と同様に定電圧源(図示せず)に接続されている。

抵抗電圧変換回路201は反転増幅回路230、231、232、233からなる。

反転増幅回路230、231の出力は加減算回路202aに入力される。また、反転増幅回路232、233の出力は加減算回路202bに入力される。加減算回路202a、202bは例えば図16に示した差分増幅回路でよい。

加減算回路202a、202bではそれぞれ、反転増幅回路230、231の出力と反転増幅回路232、233の出力の差分を出力する。

次に、加減算回路202a、202bの出力を乗除算回路203に入力する。加減算回路202a、202bおよび乗除算回路203の構成は実施の形態11と同様であるので説明は省略する。

[0108] この回路構成においては、定電流回路を用いる代わりに、検出用素子1や参照用素子11、21を含む反転増幅回路を設け、素子の抵抗変化を定電圧源から供給される定電圧 $V_{cc}$ に対する増幅率の変化の形で検出し増幅する。より具体的には、検出用素子1を用いた反転増幅回路230の出力電圧 $V_{H1}$ は、抵抗250の抵抗値を $R_{22}$ とすると

$$V_{H1} = V_{cc} \times (R_m + \Delta R / 2 \times H / |H_k|) / R_{22} \quad (24)$$

となる。同様に参照用素子11a、11bを含む反転増幅回路231および232の出力電圧 $V_{H2}$ および $V_{H3}$ は、抵抗251、252の抵抗値をそれぞれ $R_{21}$ 、 $R_{23}$ とすると

$$V_{H2} = V_{cc} \times (R_m - \Delta R / 2) / R_{21} \quad (25)$$

$$V_{H3} = V_{cc} \times (R_m - \Delta R / 2) / R_{23} \quad (26)$$

となる。また、参照用素子21を含む反転増幅回路233の出力電圧 $V_{H4}$ は、抵抗253の抵抗値を $R_{24}$ とすると

$$V_{H4} = V_{cc} \times (R_m + \Delta R / 2) / R_{24} \quad (27)$$

となる。

[0109] 参照用素子11a、11b、21と検出用素子1とは、第2の磁性層と第1の磁性層の磁

化方向以外はまったく同様に構成している。また、抵抗250、251、252、253は等しい抵抗値を有するようにすれば出力の調整を行う必要がないので望ましい。しかし、異なる抵抗値であっても後段で出力の調整を行えば良い。

- [0110] 次に、加減算増幅回路202a、202bで加減算と増幅を行う。加減算増幅回路202a、202bで用いる抵抗は、異なる抵抗値を有していても良いが、4つの抵抗に全て同じ値のものをを用いることで増幅率を1とできる。この場合、加減算回路からの出力は、抵抗250、251、252、253の抵抗値が $R_{21}$ で等しい場合、出力電圧の差は式(28)、(29)に示すようになる。

$$V_{H1} - V_{H2} = V_{cc} \times (1 + H / |H_k|) \times \Delta R / R_{21} / 2 \quad (28)$$

$$V_{H4} - V_{H3} = V_{cc} \times \Delta R / R_{21} \quad (29)$$

さらに、乗除算回路203における出力は、次式のようにになる。

$$V_{out} = (V_{H1} - V_{H2}) \times V_a / (V_{H4} - V_{H3}) = V_a \times (1 + H / |H_k|) / 2 \quad (30)$$

また、出力調整回路210をもうけることで、 $H = -|H_k|$  から  $H = +|H_k|$  まで変化するときの、 $V_{out}$  の出力範囲を  $-V_a / 2$  から  $V_a / 2$  とすることができる。

- [0111] 本実施の形態の磁気測定回路では、第1の参照用磁気抵抗効果素子と同じ外部磁界応答特性を有する第3の参照用磁気抵抗効果素子を有し、第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第3の磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、抵抗電圧変換回路において第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分および第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第3の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分を増幅し、それぞれ第1の電圧および第2の電圧として出力する加減算増幅回路と、第1の電圧と前記第2の電圧の除算を出力する乗除算回路とを有している。

- [0112] そのため、参照用素子11と検出用素子1とを用いて差動検出することができるために大きな出力信号が得られる。また、素子間の抵抗値のばらつきや温度による抵抗値の変化などの影響により抵抗変化率が変化しても、参照用素子11、21の実使用

の環境下における抵抗変化率を用いて自動的に補正されるため、精度よくかつ瞬時に外部磁界を検出することが可能となる。

[0113] さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を設けることにより、簡単な回路構成で、かつ非同期で動作する磁界検出器を構成することができる。

また、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を、同一基板上に設けられた磁気抵抗素子、バイポーラトランジスタ、抵抗素子などを用いて構成することにより、外部からのノイズや加減算増幅回路、乗除算回路に含まれるトランジスタや抵抗の温度変化などによる影響を抑えることが可能となる。抵抗については、温度による抵抗率の変化が小さい材料、例えば金属酸化物薄膜を利用した抵抗器などで構成することが望ましい。

[0114] さらに、定電流源を必要とせず、定電圧源のみで検出が可能となるので、回路を簡略化することができる。

[0115] 実施の形態13.

図22は、本発明の実施の形態13における磁界検出器の回路ブロック図である。ここに示す磁界検出器は実施の形態10の磁界検出器に対して、さらに磁場シールドを設けた校正用磁気抵抗効果素子211(以下、校正用素子と表示する。)を含んだ回路構成の例である。回路に含まれる素子1、11、21の構造と作製方法については、実施の形態3と同様であるので説明を省略する。

[0116] まず、校正用素子211について説明する。校正用素子211は、検出用素子1と同じ方法で作製され、検出用素子1と同じ構造を持つ素子に対して、磁気シールド5を設けたものである。磁気シールド5は実施の形態1と同様の材料からなる。このように構成することによって、外部磁場が印加されていないときの素子の抵抗を正確に求めることが可能となる。外部磁場の印加されていない場合の抵抗値を正確に求めることによって、外部磁場をより高精度に測定することが可能となる。以下、この原理について図23を用いて説明する。

[0117] 素子抵抗の外部磁界依存性において、外部磁場が0の場合の抵抗値を $R_m$ とした場合に、周囲の環境、ノイズ等により $R = R_m$ を与える外部磁場に微小な変化( $\Delta H$ )が発生する場合を考える。このとき、外部磁場=0のときの素子抵抗は $R = R_{\text{offset}} \neq R_m$ と



なる。このまま測定を行うと、図23に記載のとおり、 $\Delta H$ で示す量だけ検出される磁場の大きさに誤差が生じる。そこで、外部磁場の印加されていない場合の抵抗値 $R_{\text{offset}}$ を求めて補正することで、より正確な外部磁場の検出が可能となる。このとき、参照用素子211の第1の磁性層の磁化方向に対して平行、反平行に外部磁場を印加したときの飽和磁場をそれぞれ $H_{k+}$  および  $H_{k-}$  とし、検出用素子1に対して定電流 $I$ を流したときの電圧を $V_{\text{offset}}$  とすると、直線の傾きが等しいことから、次式が得られる。

$$\Delta H / (H_{k+} - H_{k-}) = (R_{\text{offset}} - R_m) / \Delta R \quad (31)$$

$$V_{\text{offset}} = IR_{\text{offset}} \quad (32)$$

ここで

$H_{k+} - H_{k-} = 2 |H_k|$  であるため、 $R_{\text{offset}}$ 、 $\Delta R$ を測定により決定できれば、この式(31)に従って磁場抵抗特性のシフト量 $\Delta H$ を正確に求めることができる。

[0118] 次に、本実施の形態の磁界検出器の検出動作について図22を用いて説明する。図22に示される磁界検出器は、抵抗電圧変換回路201と、加減算増幅回路202c、202dと、乗除算回路203a、203bと、加減算増幅回路207cとから構成される。

抵抗電圧変換回路201は、検出用素子1、参照用素子11、21、校正用素子211にそれぞれ定電流回路204を接続することで構成されており、磁界検出時にそれぞれ一定電流 $I$ が流される。検出用素子1、参照用素子11、21の動作については、実施の形態11と同様であるので説明を省略する。校正用素子211は磁場シールド5に覆われた構造となっているため、その両端に生じる電圧 $V_{\text{offset}}$ は外部磁場が0のときの検出用素子1の電圧 $V$ に等しい。

[0119] 次に、加減算増幅回路202cは、検出用素子1と参照用素子11の出力の差分を増幅する差分増幅回路207aと、参照用素子11、21との差を計算する減算回路206とから構成される。差分増幅回路207aと減算回路206の詳細な動作は実施の形態11と同様であるので説明を省略する。差分増幅回路207aおよび減算回路206と接続された乗除算回路203aは実施の形態11と同様の構成であり、その出力は、実施の形態11における式(23)と同様の考察から次のとおりである。

$$V_{\text{out1}} = (V - V_1) \times V_a / V_- = V_a \times \{1 + 2H / (H_{k+} - H_{k-})\} / 2 \quad (33)$$

[0120] 次に、加減算増幅回路202dは、参照用素子11、21の出力の和 $V_+$ を出力する加

算回路205と、加算回路205の出力と $V_{\text{offset}}$ の2倍の差分を増幅する差分増幅回路207bとからなる。加算回路205は、例えば図24のような回路で構成できる。図24に示す回路はOPアンプ245と抵抗245とからなる回路で構成される。ここで図面の同一記号は同様のOPアンプと抵抗である。

このとき $V_+$ について次式が成り立つ。

$$V_+ = V_1 + V_2 = 2 \times I \times R_m \quad (34)$$

差分増幅回路207bは、磁場シールドを設けた校正用素子211からの入力を2倍に増幅し、加算回路205からの入力との差分を出力する。

出力する電圧は式(32)および(34)より式(35)となる。

$$(2 \times V_{\text{offset}} - V_+) = 2 \times I \times R_{\text{offset}} - 2 \times I \times R_m \quad (35)$$

- [0121] 定電圧源208の出力を $V_a/2$ とすると、加減算増幅回路202dと減算回路206とに接続され、加減算増幅回路202dの出力を減算回路206で除した値を出力する乗除算回路203bの出力は、式(21)、(31)、(35)から次式のとおりである。

$$V_{\text{out2}} = V_a \times \Delta H / (H_{k+} - H_{k-}) \quad (36)$$

- [0122] 乗除算回路203aと乗除算回路203bの出力の差分を出力する加減算増幅回路207cの出力 $V_{\text{out}}$ は式(33)、(36)から次のようになる。

$$V_{\text{out}} = V_a \times \{1/2 + (H - \Delta H) / (H_{k+} - H_{k-})\} \quad (37)$$

さらに、出力調整回路210を用いて $V_a/2$ を減算すると、

$$V_{\text{out}} = V_a \times \{(H - \Delta H) / (H_{k+} - H_{k-})\} \quad (38)$$

となる。つまり、 $R = R_m$ を与える外部磁場に微少な変化( $\Delta H$ )の誤差をこの磁界検出器は排除することが出来る。

また例えば、 $V_a = 2V$ と設定すると、 $H_{k+}$ と $H_{k-}$ の間で電圧出力が1Vから-1Vが得られるようにできる。

- [0123] 本実施の形態の磁気測定器では、磁界検出用磁気抵抗効果素子と同じ外部磁界応答特性を持ち、磁気シールドを施された校正用磁気抵抗効果素子を有し、第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗と校正用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、抵抗電圧変換回路において第1の参照用磁気抵抗効果

素子の抵抗から変換された電圧と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗から変換された電圧との和と、校正用磁気抵抗効果素子の抵抗から変換された電圧の2倍の電圧との差分を第4の電圧として出力する第2の加減算増幅回路と、第2の電圧と前記第4の電圧の差分を第5の電圧として出力する第2の乗除算回路と第3の電圧と前記第5の電圧の差分を出力する減算回路とを有している。

- [0124] そのため磁場シールドを設けた校正用素子211と、検出用素子1の出力との差動検出を用いることができるために大きな出力信号が得られる。また、素子間の抵抗値のばらつきや温度による抵抗値の変化などの影響により抵抗変化率が変化しても、磁場シールドを設けた校正用素子211の実使用の環境下における抵抗変化率を用いて自動的に補正されるため、精度よくかつ瞬時に外部磁界を検出することが可能となる。

さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を設けることにより、簡単な回路構成で、かつ非同期で動作する磁界検出器を構成することができる。

- [0125] さらに、抵抗電圧変換回路、加減算増幅回路、乗除算回路を、同一基板上に設けられた磁気抵抗素子、バイポーラトランジスタ、抵抗素子などを用いて構成することにより、外部からのノイズや加減算増幅回路、乗除算回路に含まれるトランジスタや抵抗の温度変化などによる影響を抑えることが可能となる。抵抗については、温度による抵抗率の変化が小さい材料、例えば金属酸化物薄膜を利用した抵抗器などで構成することが望ましい。

さらに、磁場シールドを設けた校正用素子211を設けることにより、外部磁場の印加されていない場合の抵抗値 $R_{\text{offset}}$ を求めて参照値として用いることで、より精確に外部磁場の測定が可能となる。

- [0126] また、参照用素子11、21にも、外部磁界を遮蔽するための磁気シールド5を設けることもできる。

磁気シールド5は実施の形態1と同様の材料からなる。

磁気シールド5を設けることにより、参照用素子11、21は外部シールド5により外部磁界の影響を受けない。そのため、参照用素子11の第2の磁性層の磁化方向12と第1の磁性層の磁化方向13の方向が平行でかつ、参照用素子21の第2の磁性層の

磁化方向22と第1の磁性層の磁化方向23の方向が反平行であれば、参照用素子11, 21の第2の磁性層の磁化方向12、13は任意の向きとすることができる。

[0127] 上記においては磁界検出器およびこれを用いた電流検出装置、位置検出装置および回転検出器について説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、磁界を発するか若しくは磁界の変化を伴い移動する物体の位置及び移動量検出器、磁気記憶装置、磁気記録ヘッド、磁気記録媒体などのパターン化された磁気素子、および電力検出器などの被測定物が磁界の変化を伴う検出器であれば類似する他の装置に広く適用することができる。

[0128] また、上記においては3個もしくは4個のトンネル磁気抵抗効果素子からなる磁界検出器について説明したが、検出器にはそれ以外の数のトンネル磁気抵抗効果素子が含まれていてもよい。さらにこれらの素子が例えばブリッジ回路を形成していてもよい。また磁気抵抗効果素子にトンネル磁気抵抗効果素子を用いることが好ましいが、これに限定されるものではなく、巨大磁気抵抗効果素子など、一方の磁化方向が固定された強磁性層を含むその他の磁気抵抗効果素子であってもよい。

### 請求の範囲

- [1] 参照用磁気抵抗効果素子と磁界検出用磁気抵抗効果素子とを備えた磁界検出器であって、  
前記参照用磁気抵抗効果素子および前記磁界検出用磁気抵抗効果素子はおのこの、  
反強磁性層と  
前記反強磁性層により磁化方向が固定された磁性体からなる第1の層と  
非磁性層と  
外部磁界によって磁化方向が変化する磁性体からなる第2の層とが積層された構造を有し、  
前記参照用磁気抵抗効果素子は第1の層の磁化方向と第2の層の無磁界における磁化方向とが平行もしくは反平行であり、  
前記磁界検出用磁気抵抗効果素子は第1の層の磁化方向と第2の層の無磁界における磁化方向とが異なることを特徴とする磁界検出器。
- [2] 参照用磁気抵抗効果素子の第1の層と磁界検出用磁気抵抗効果素子の第1の層との磁化方向が平行もしくは反平行であることを特徴とする請求項1記載の磁界検出器。
- [3] 参照用磁気抵抗効果素子に磁気シールドを施すことを特徴とする請求項1記載の磁界検出器。
- [4] 参照用磁気抵抗効果素子を複数有し、第1の参照用磁気抵抗効果素子は第1の層の磁化方向と無磁界における第2の層の磁化方向とが平行であり、第2の参照用磁気抵抗効果素子は第1の層の磁化方向と無磁界における第2の層の磁化方向とが反平行であることを特徴とする請求項1に記載の磁界検出器。
- [5] 磁界検出用磁気抵抗効果素子に既知の磁界を印加することのできる磁界印加用の配線を有することを特徴とする請求項1に記載の磁界検出器。
- [6] 参照用磁気抵抗効果素子と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子とが同一基板上に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の磁界検出器。
- [7] 既知の磁界を印加することのできる磁界印加用の配線を有し、磁界検出用磁気抵抗

効果素子と同じ外部磁界応答特性を有する飽和磁界検出用磁気抵抗効果素子をさらに有する請求項1に記載の磁界検出器。

- [8] 参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、

前記抵抗電圧変換回路において前記参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分を増幅する加減算増幅回路と、

を有する請求項1に記載の磁界検出器。

- [9] 磁界検出用磁気抵抗効果素子に既知の磁界を印加することのできる磁界印加用の配線を有することを特徴とする請求項8に記載の磁界検出器。

- [10] 第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗および磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、

前記抵抗電圧変換回路において前記第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分および前記第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と前記第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分を増幅し、それぞれ第1の電圧および第2の電圧として出力する加減算増幅回路と、

前記第1の電圧と前記第2の電圧の除算を第3の電圧として出力する乗除算回路と、  
を有する請求項4に記載の磁界検出器。

- [11] 第1の参照用磁気抵抗効果素子と同じ外部磁界応答特性を有する第3の参照用磁気抵抗効果素子を有し、第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第3の磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、

前記抵抗電圧変換回路において前記第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と前記磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗とから変換された電圧の差分および前記第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と前記第3の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗

とから変換された電圧の差分を増幅し、それぞれ第1の電圧および第2の電圧として出力する加減算増幅回路と、

前記第1の電圧と前記第2の電圧の除算を出力する乗除算回路とを有する請求項4に記載の磁界検出器。

- [12] 磁界検出用磁気抵抗効果素子と同じ外部磁界応答特性を持ち、磁気シールドを施された校正用磁気抵抗効果素子を有し、第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗と磁界検出用磁気抵抗効果素子の抵抗と校正用磁気抵抗効果素子の抵抗とを電圧に変換する抵抗電圧変換回路と、

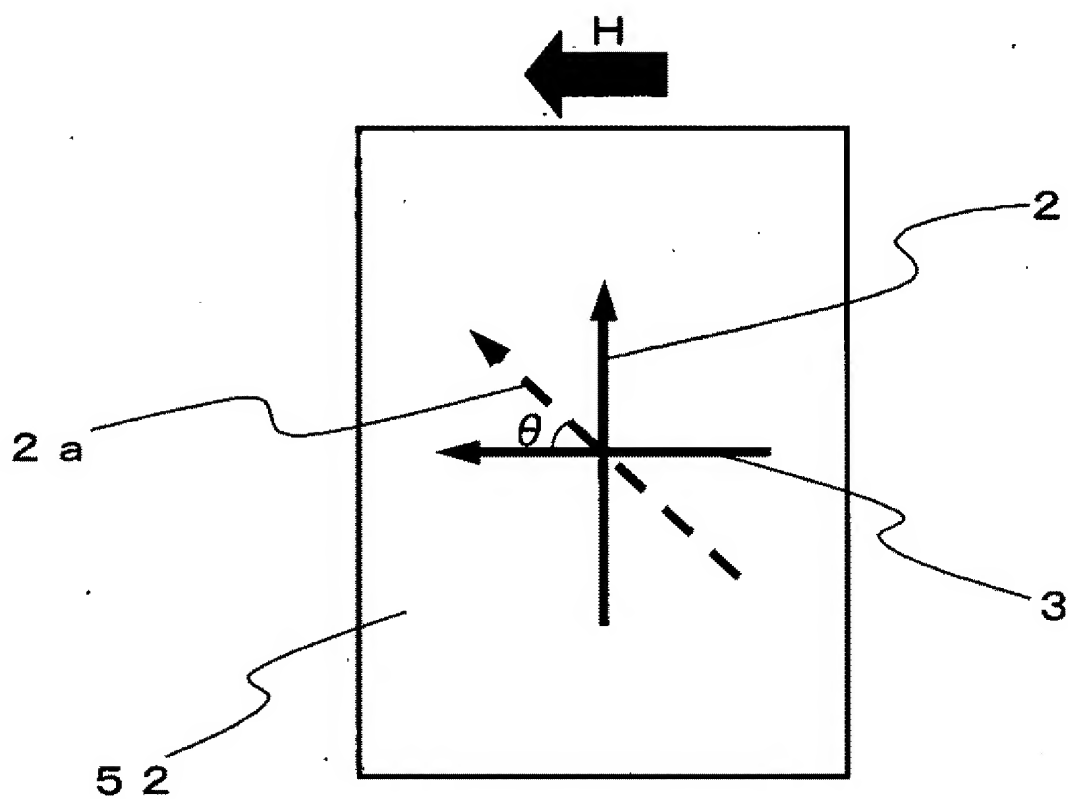
前記抵抗電圧変換回路において前記第1の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗から変換された電圧と前記第2の参照用磁気抵抗効果素子の抵抗から変換された電圧との和と、前記校正用磁気抵抗効果素子の抵抗から変換された電圧の2倍の電圧との差分を第4の電圧として出力する第2の加減算増幅回路と、

第2の電圧と前記第4の電圧の差分を第5の電圧として出力する第2の乗除算回路と

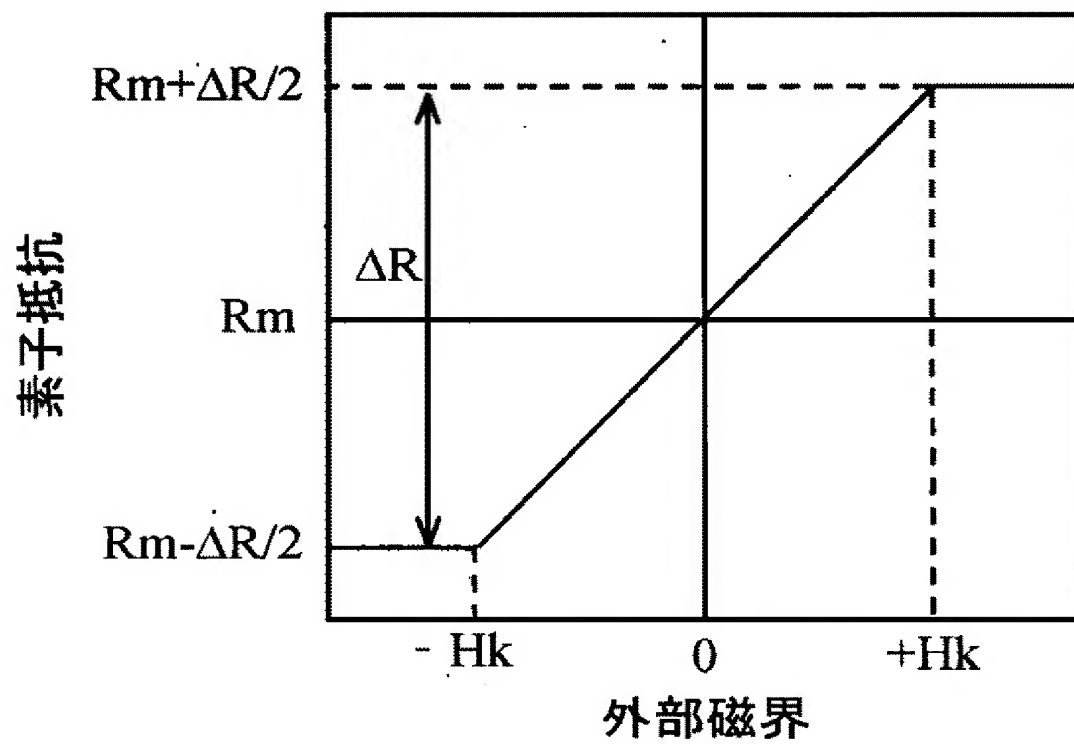
第3の電圧と前記第5の電圧の差分を出力する減算回路とを有することを特徴とする請求項9記載の磁界検出器。

- [13] 抵抗電圧変換回路と、加減算増幅回路と、乗除算回路とは同一基板上に設けられていることを特徴とした請求項8記載の磁界検出器。
- [14] 抵抗電圧変換装置が、定電流源と、抵抗素子と、磁気抵抗素子とを含んだ回路であることを特徴とする請求項8記載の磁界検出器。
- [15] 抵抗電圧変換装置が、定電圧源と、抵抗素子と、磁気抵抗素子とを含んだ回路であることを特徴とする請求項11記載の磁界検出器。
- [16] 請求項1に記載の磁界検出器を用いた電流検出装置。
- [17] 請求項1に記載の磁界検出器を用いた位置検出装置。
- [18] 請求項1に記載の磁界検出器を用いた回転検出装置。

[図1]

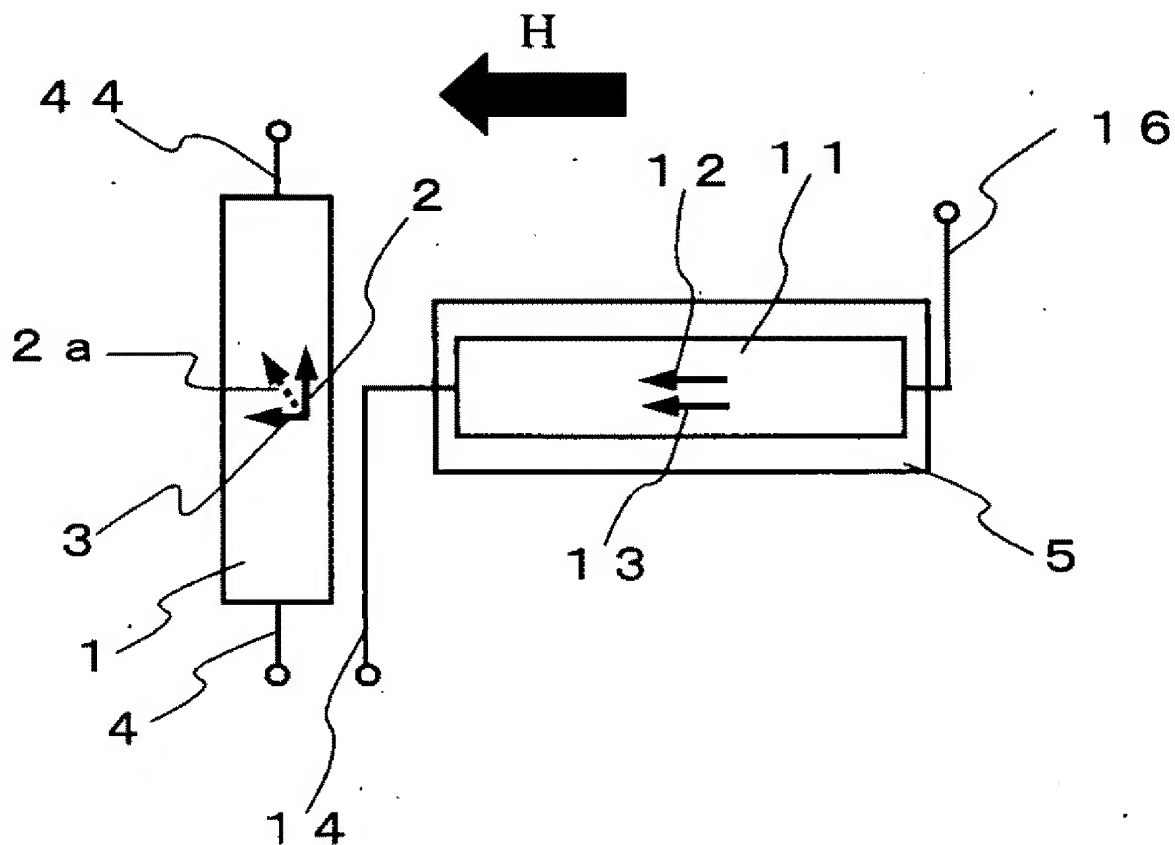


[図2]

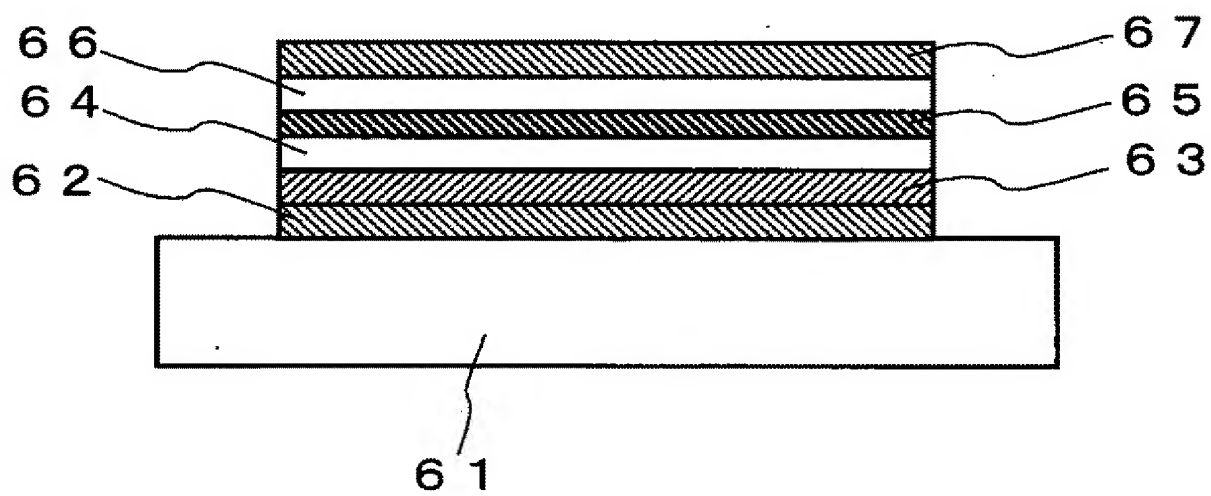




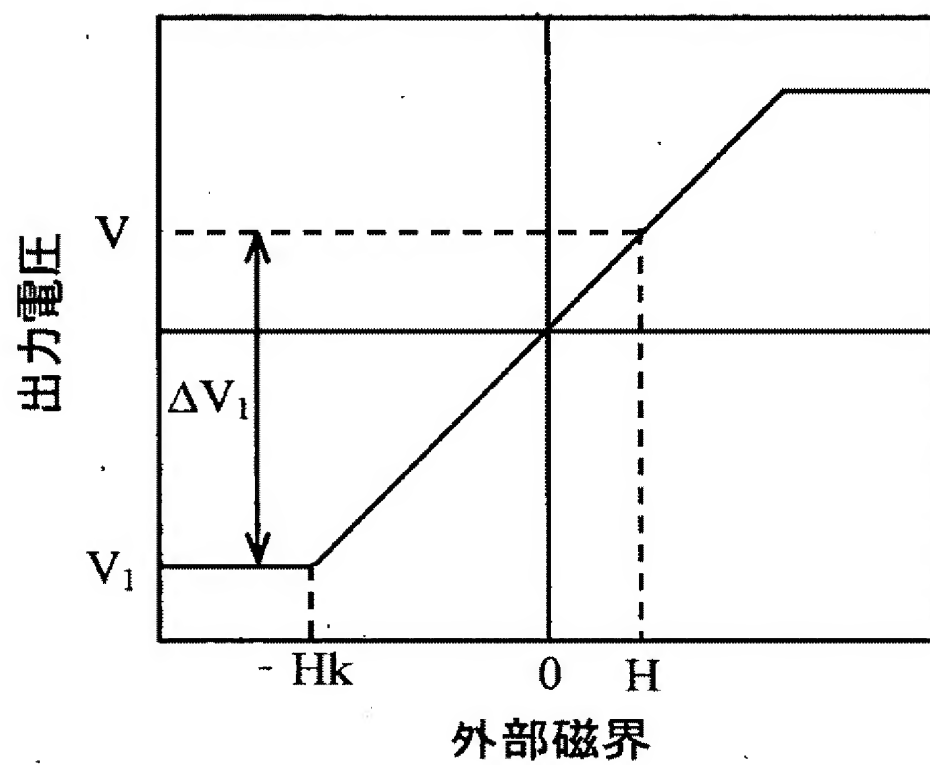
[図3]



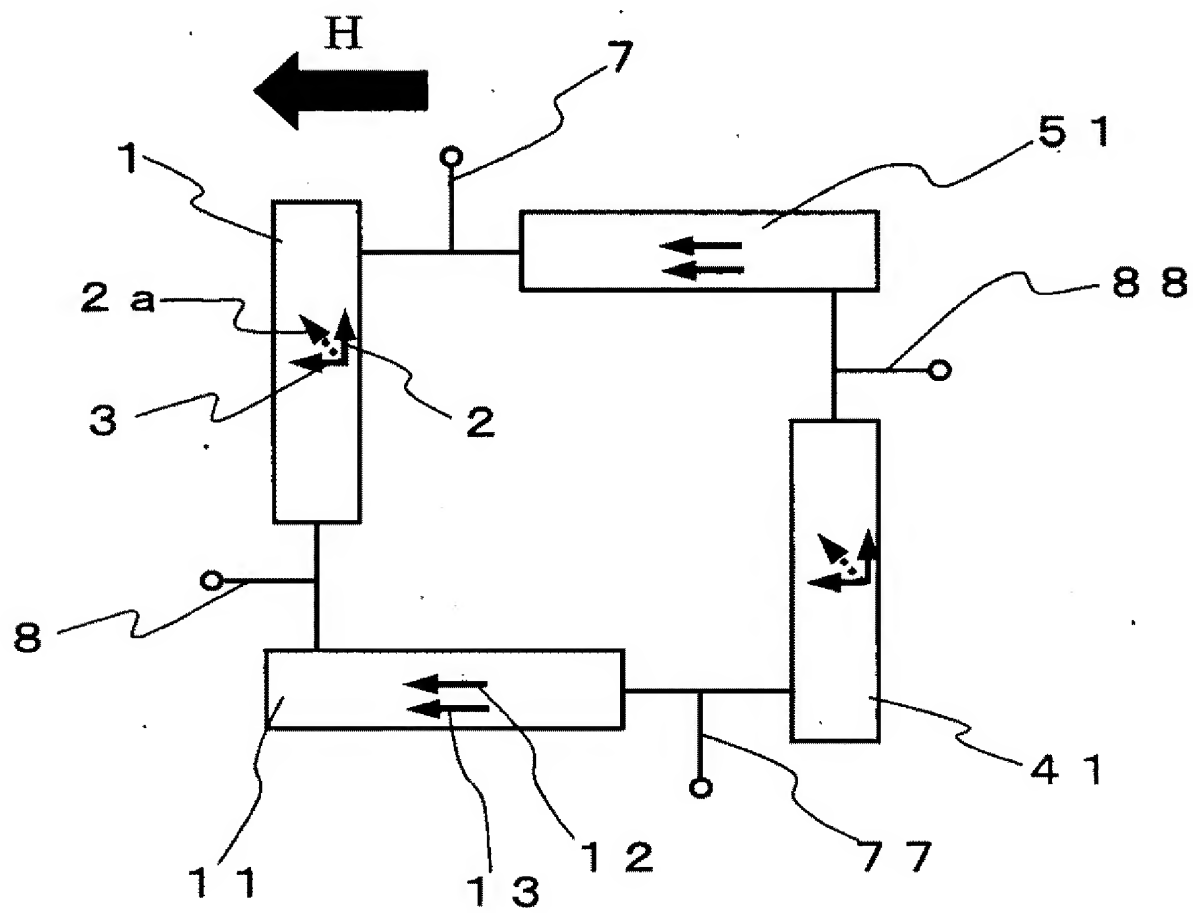
[図4]



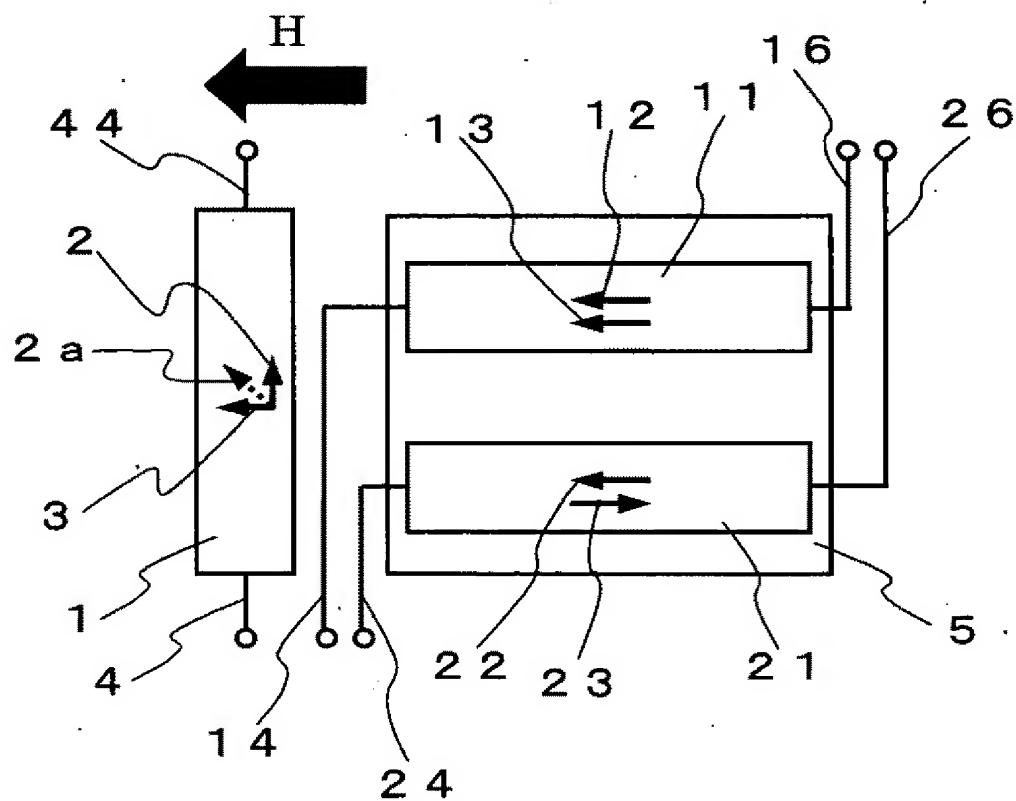
[図5]



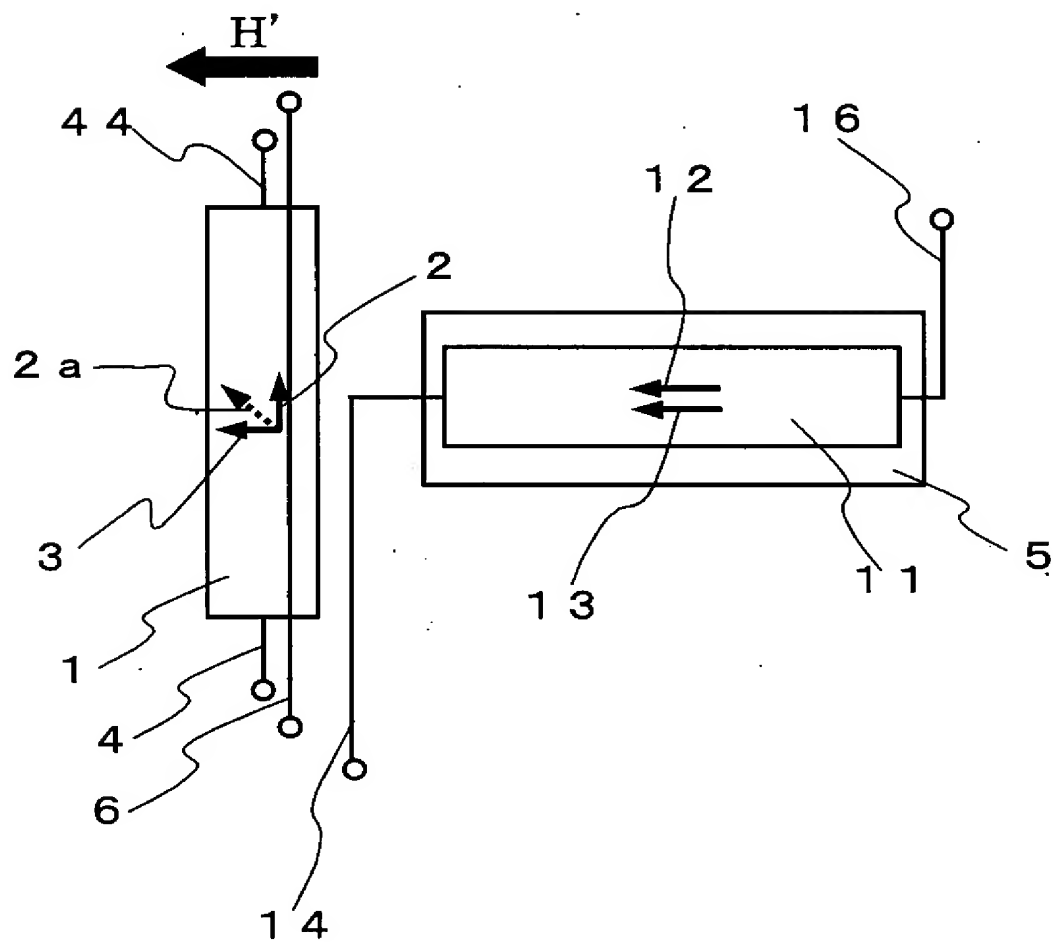
[図6]



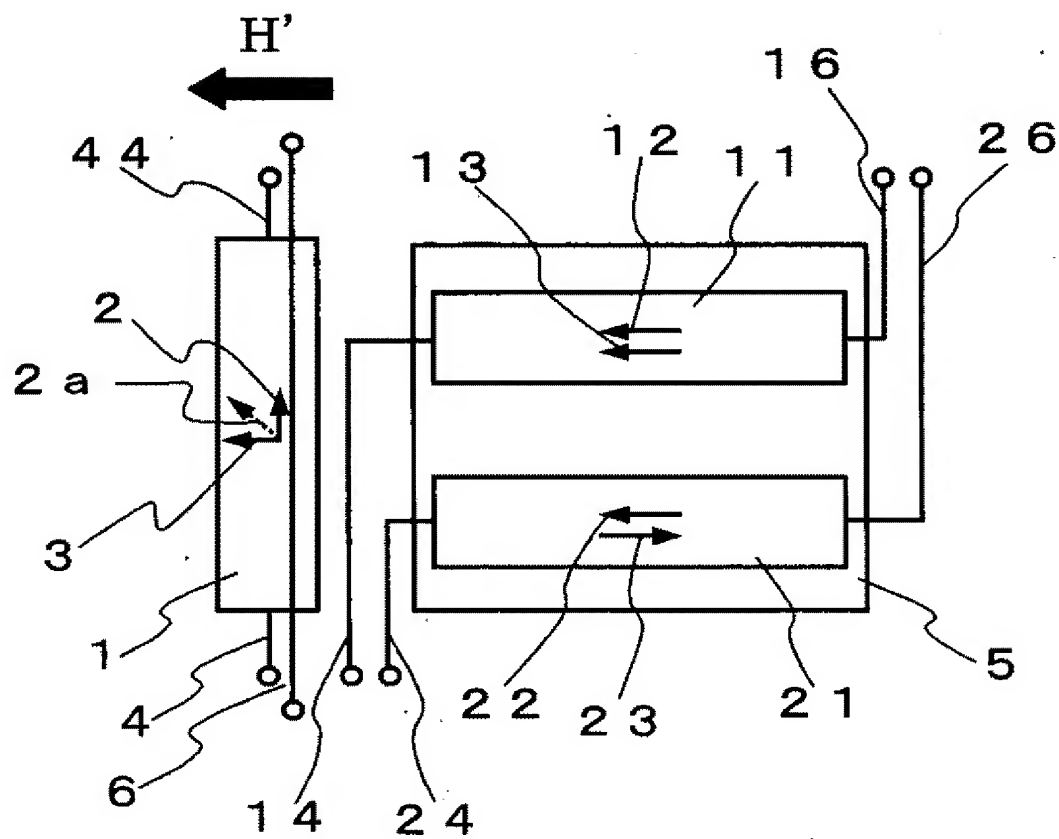
[図7]



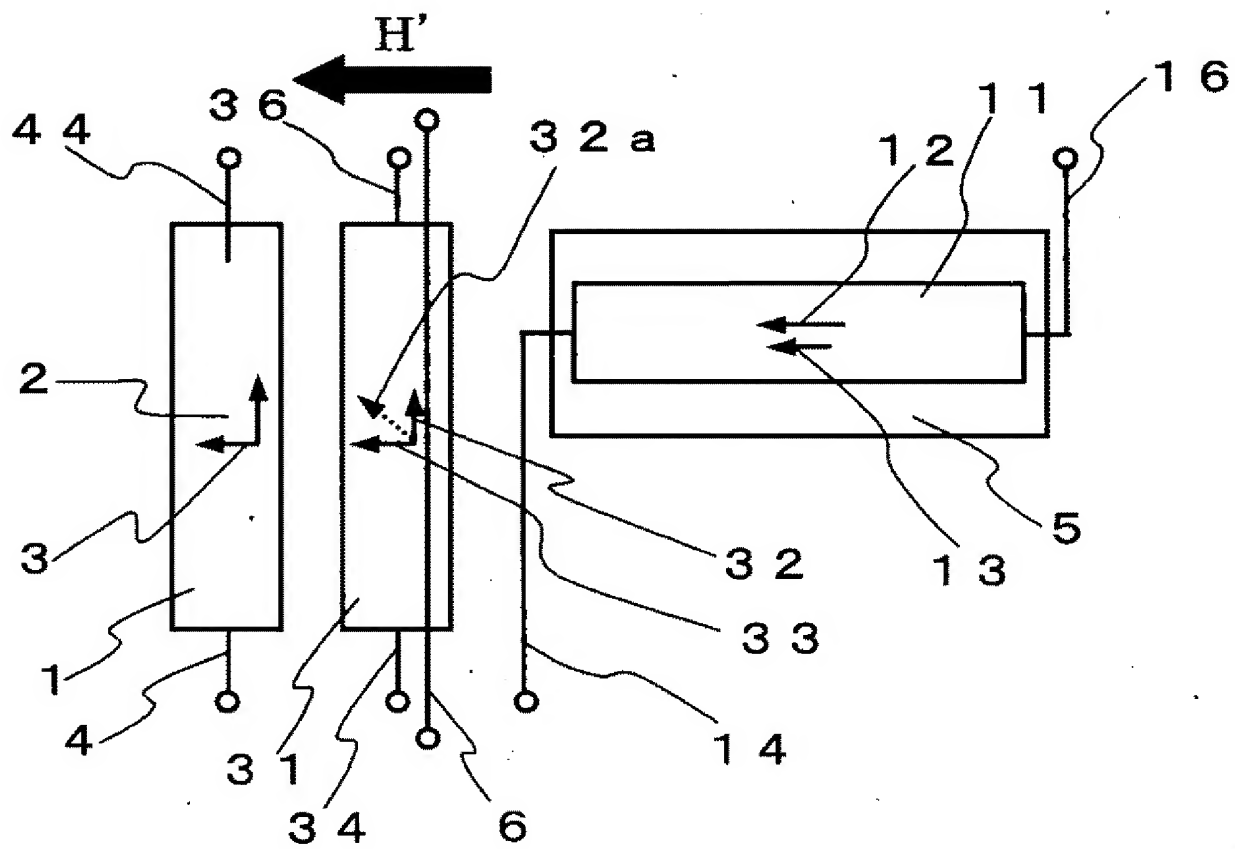
[図8]



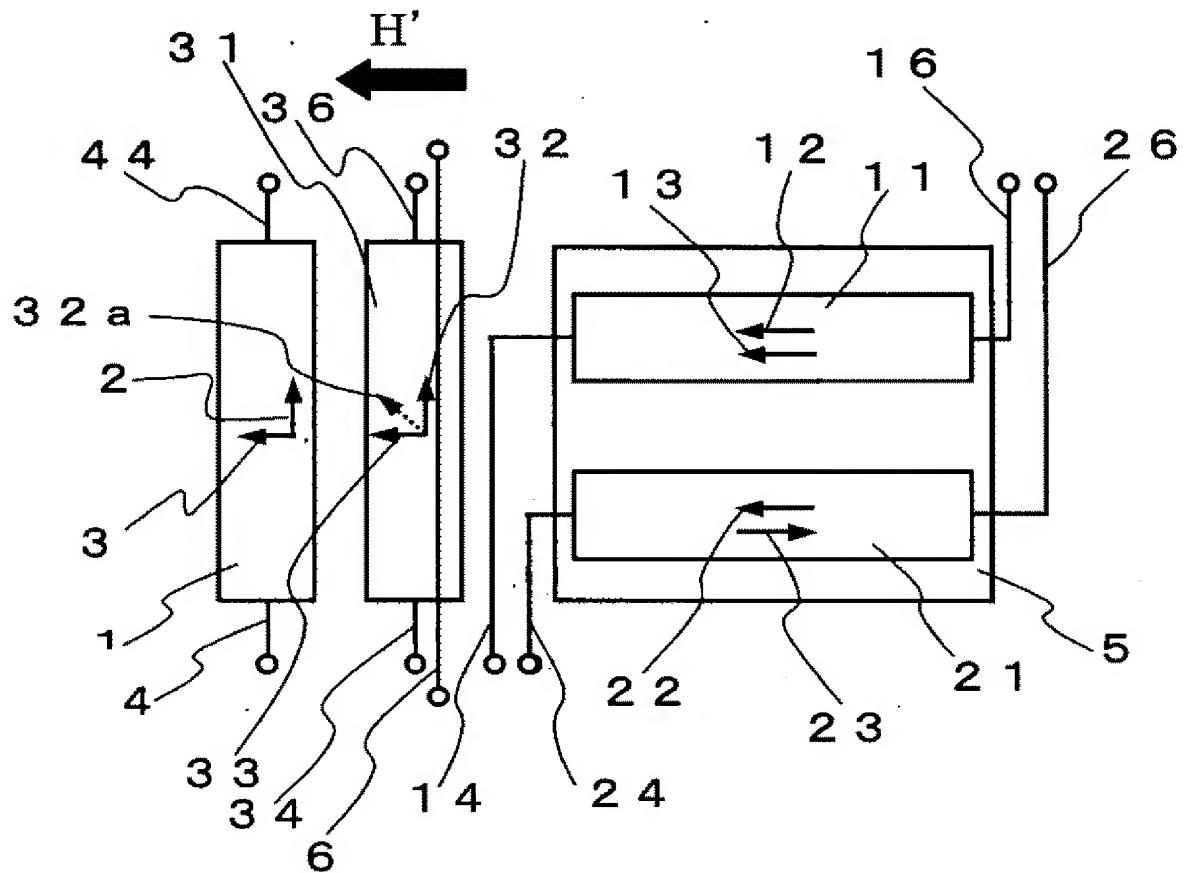
[図9]



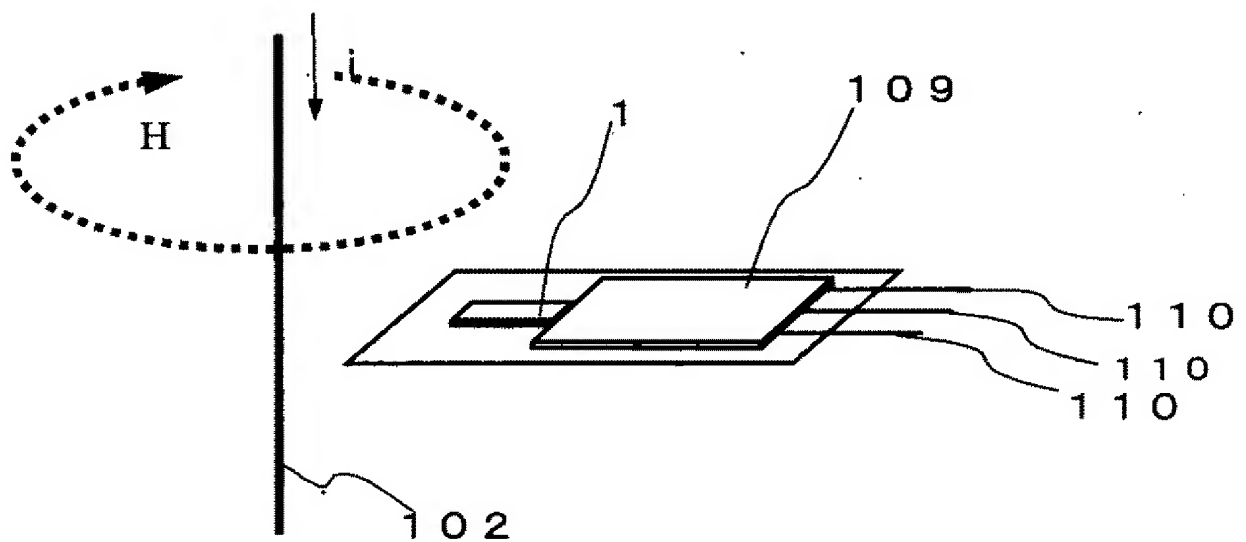
[図10]



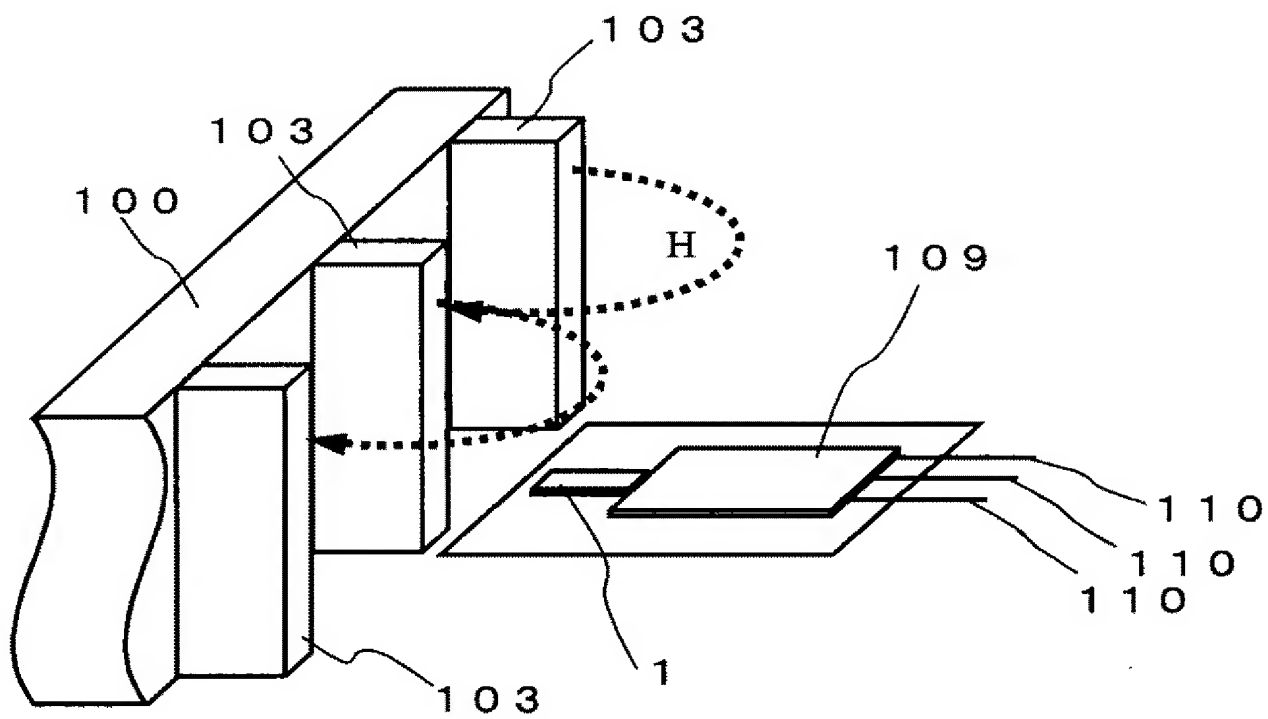
[図11]



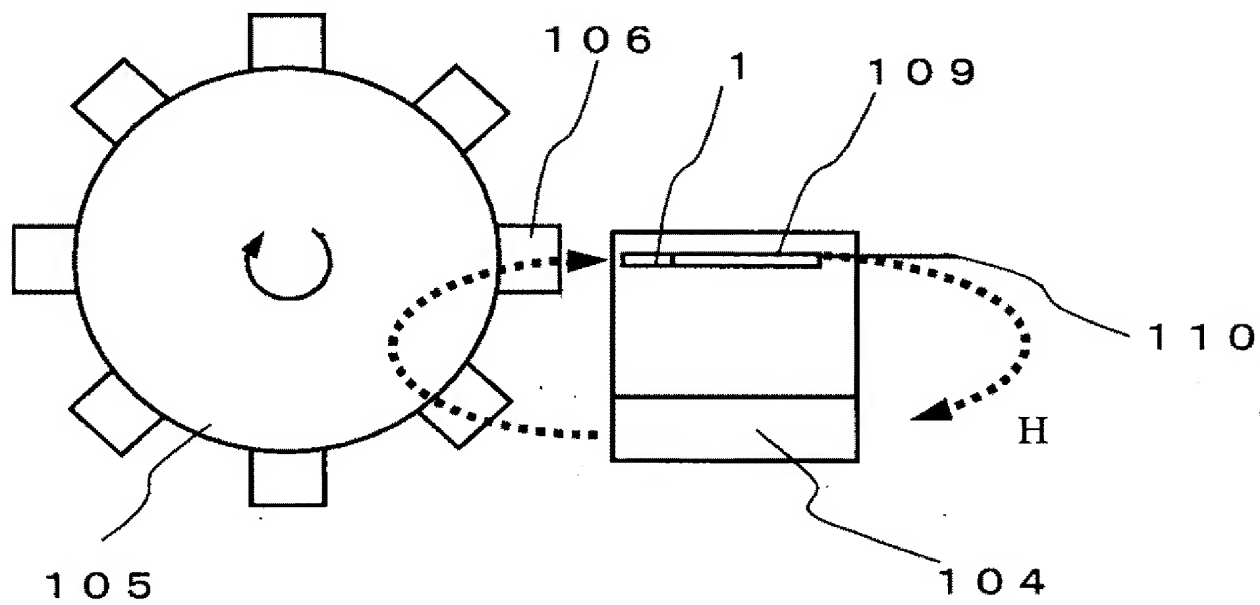
[図12]



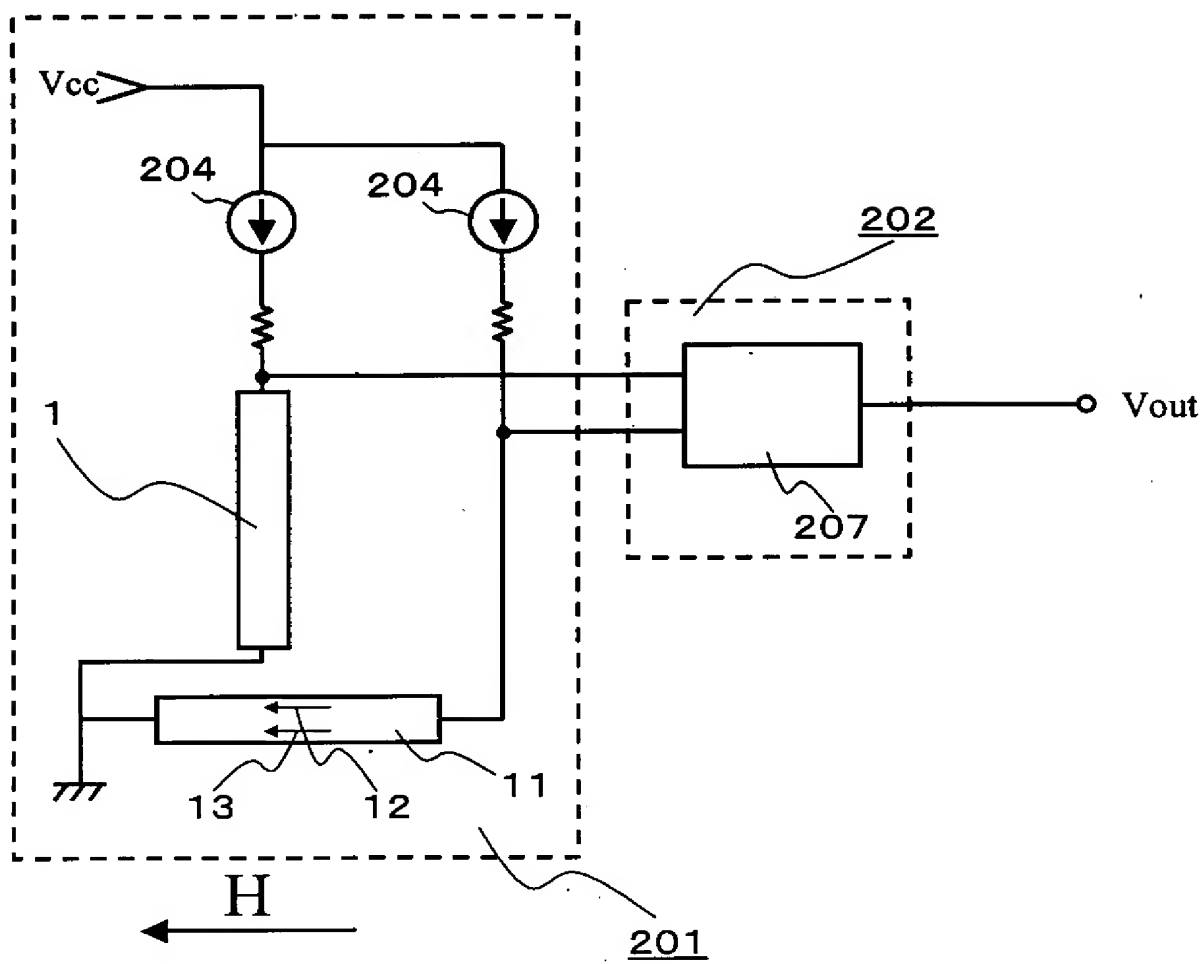
[図13]



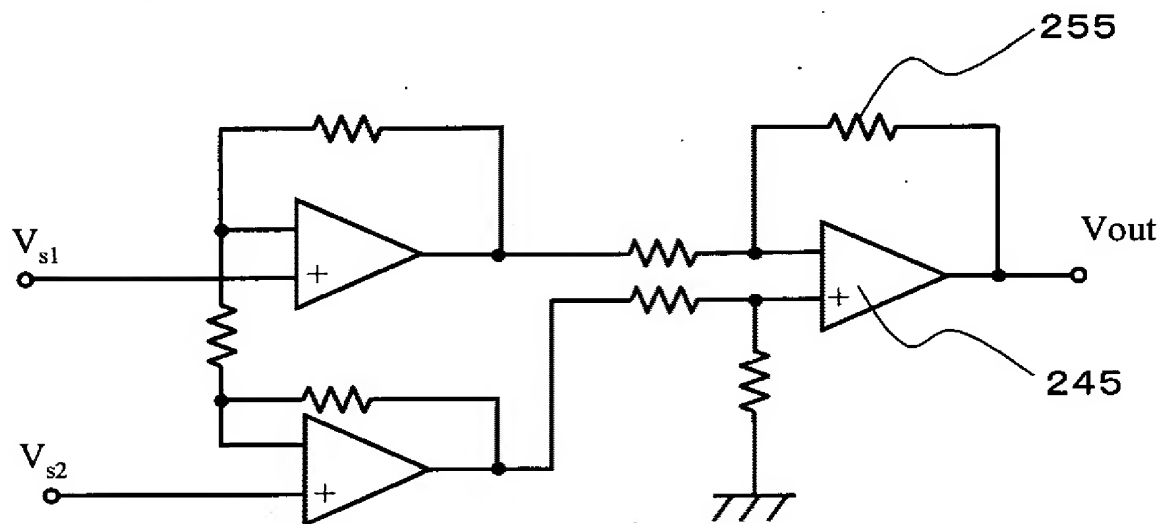
[図14]



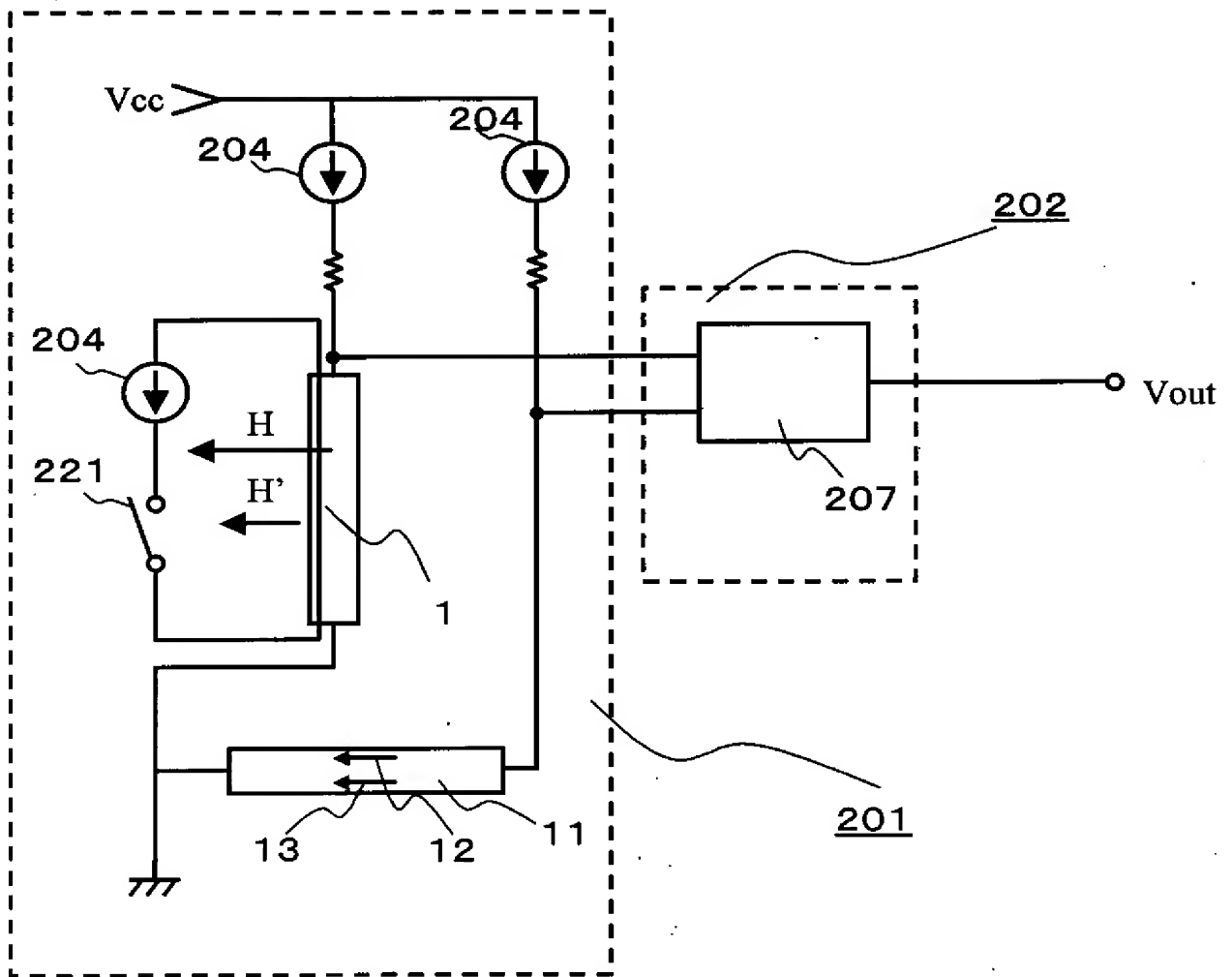
[図15]



[図16]

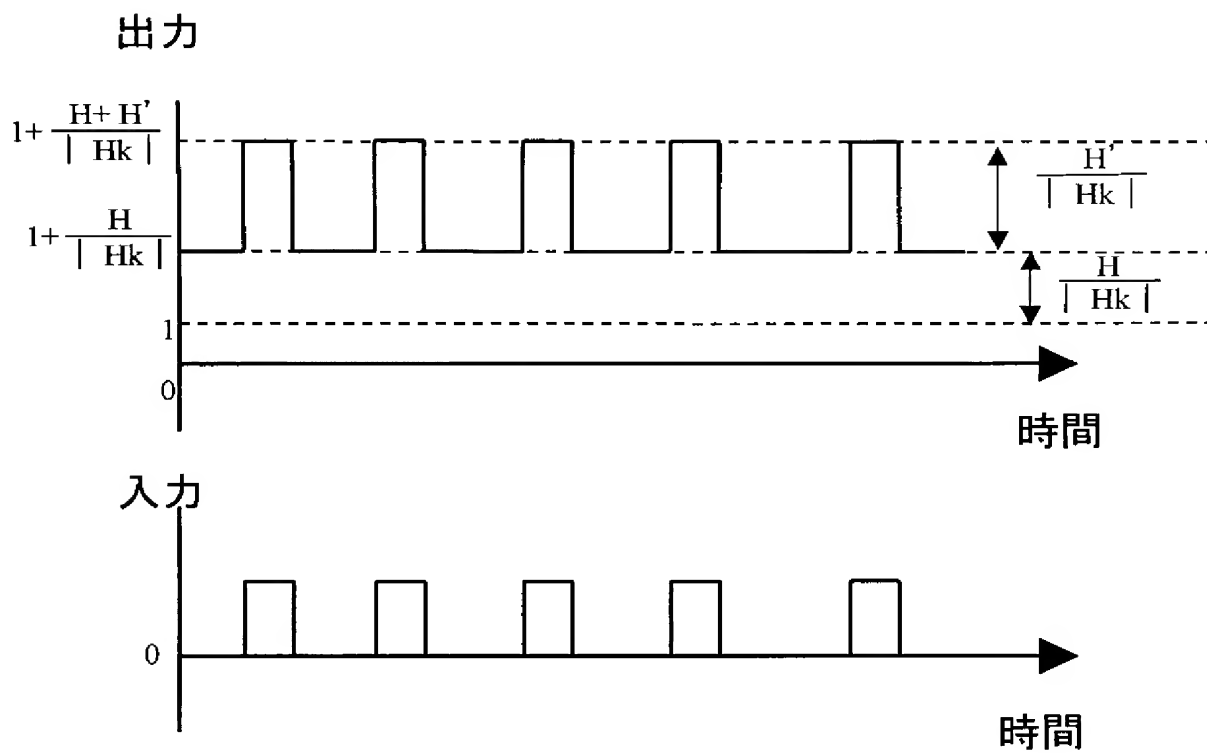


[図17]

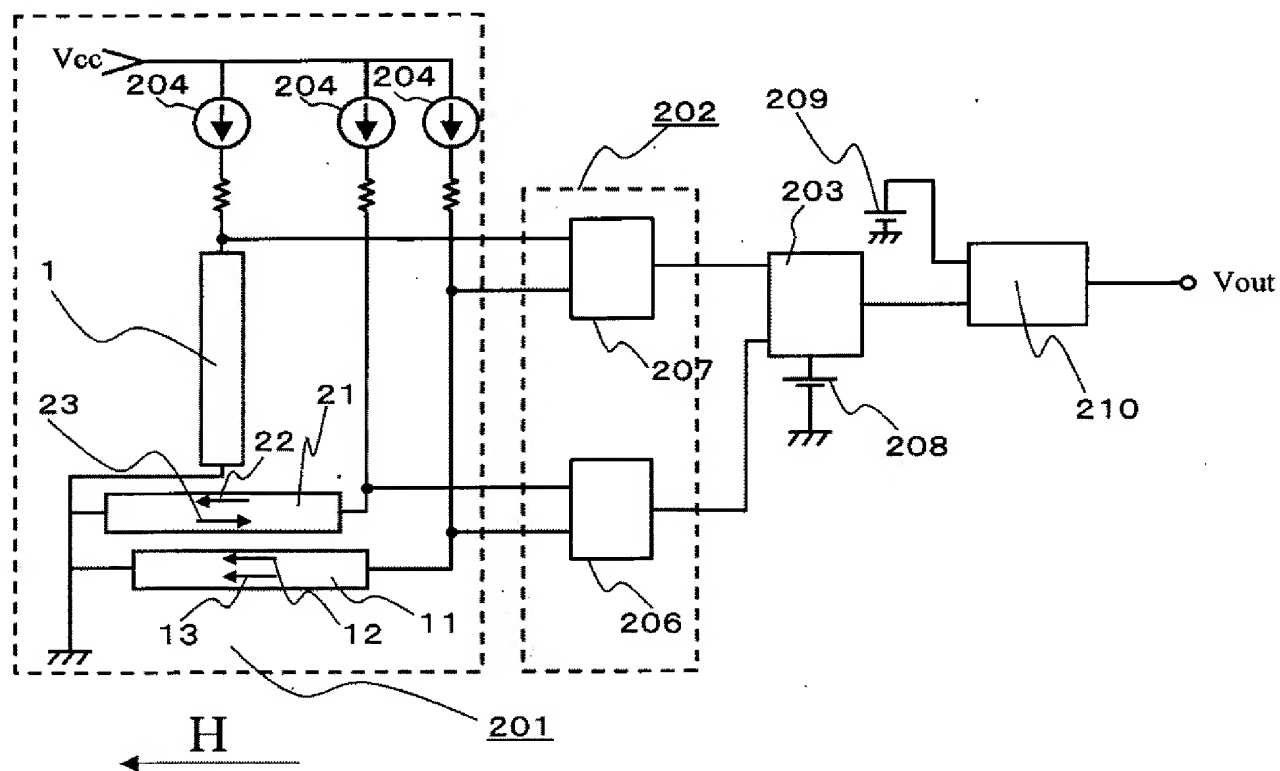




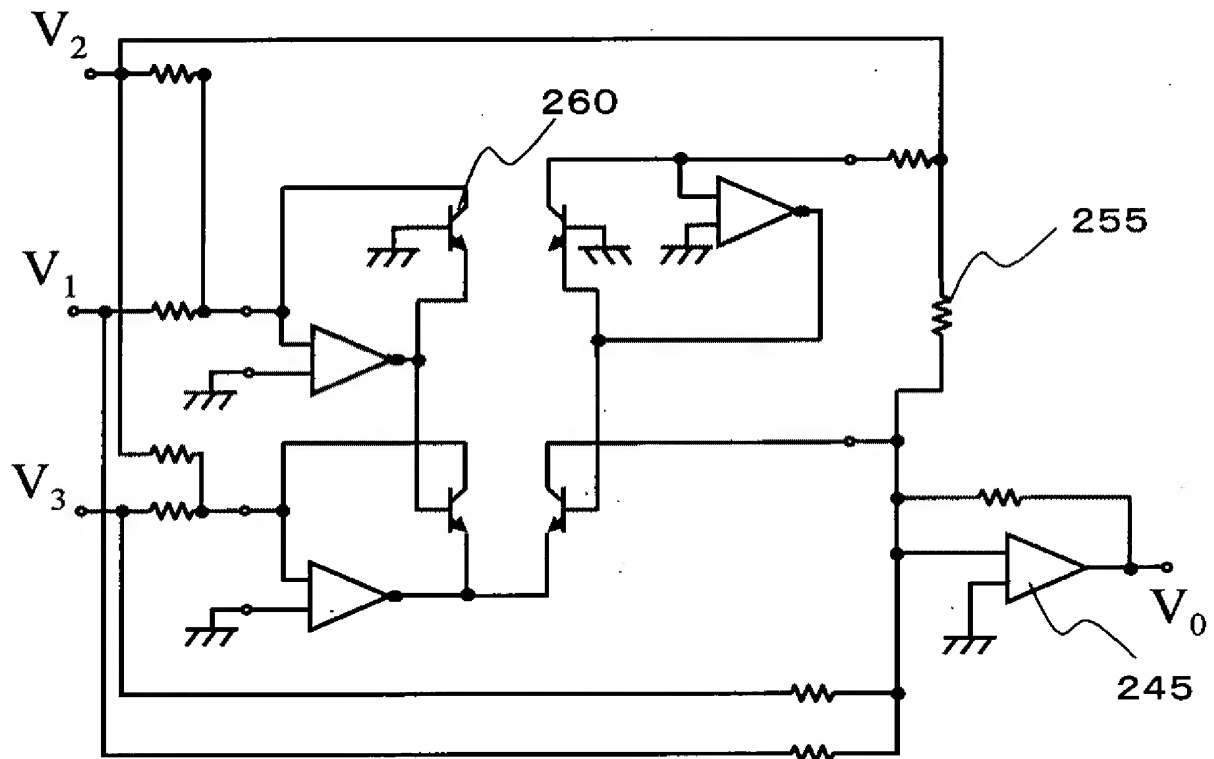
[図18]



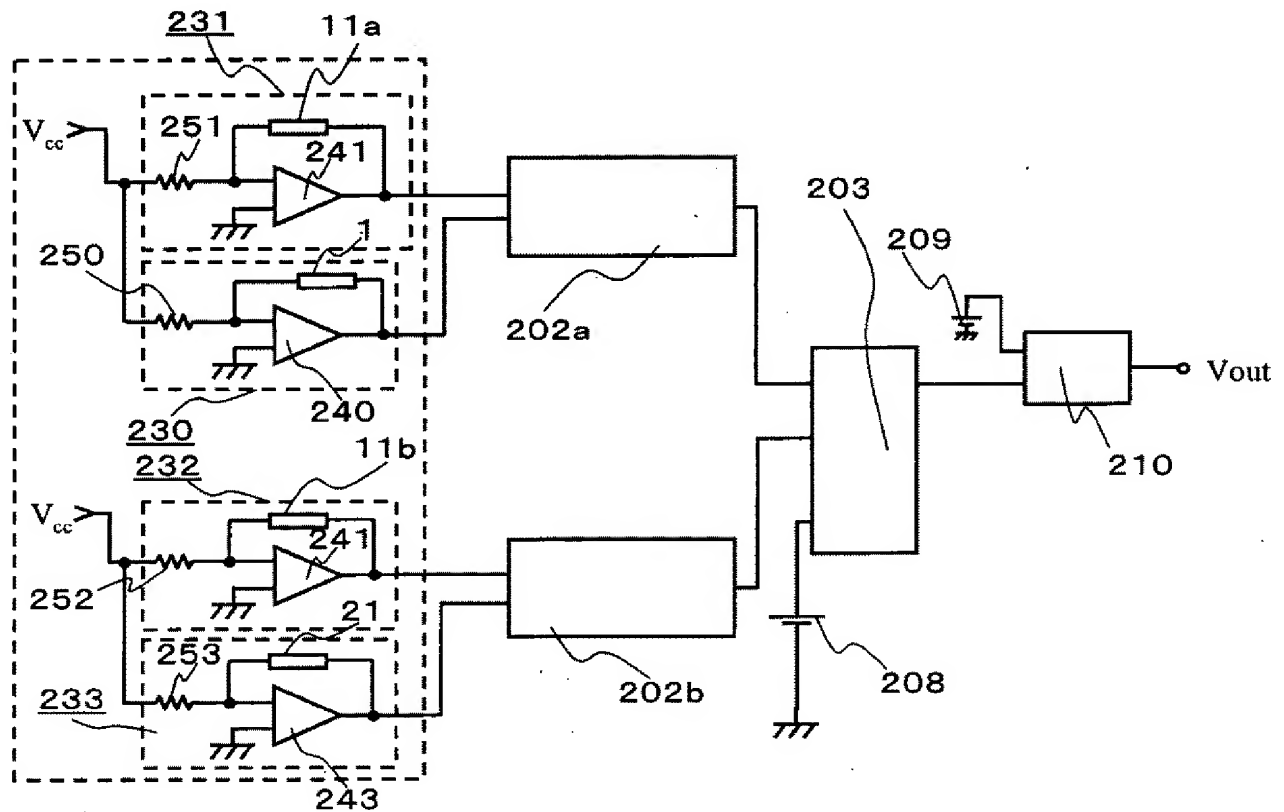
[図19]



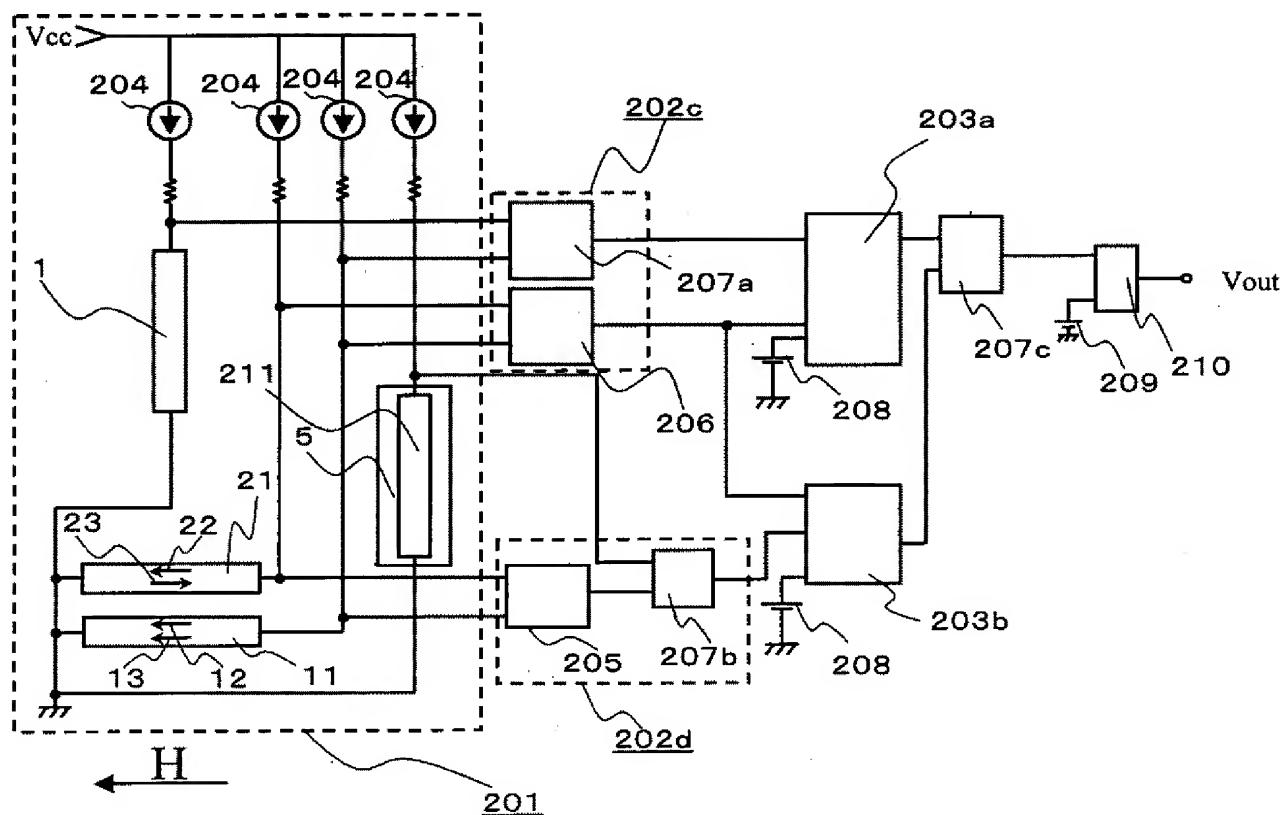
[図20]



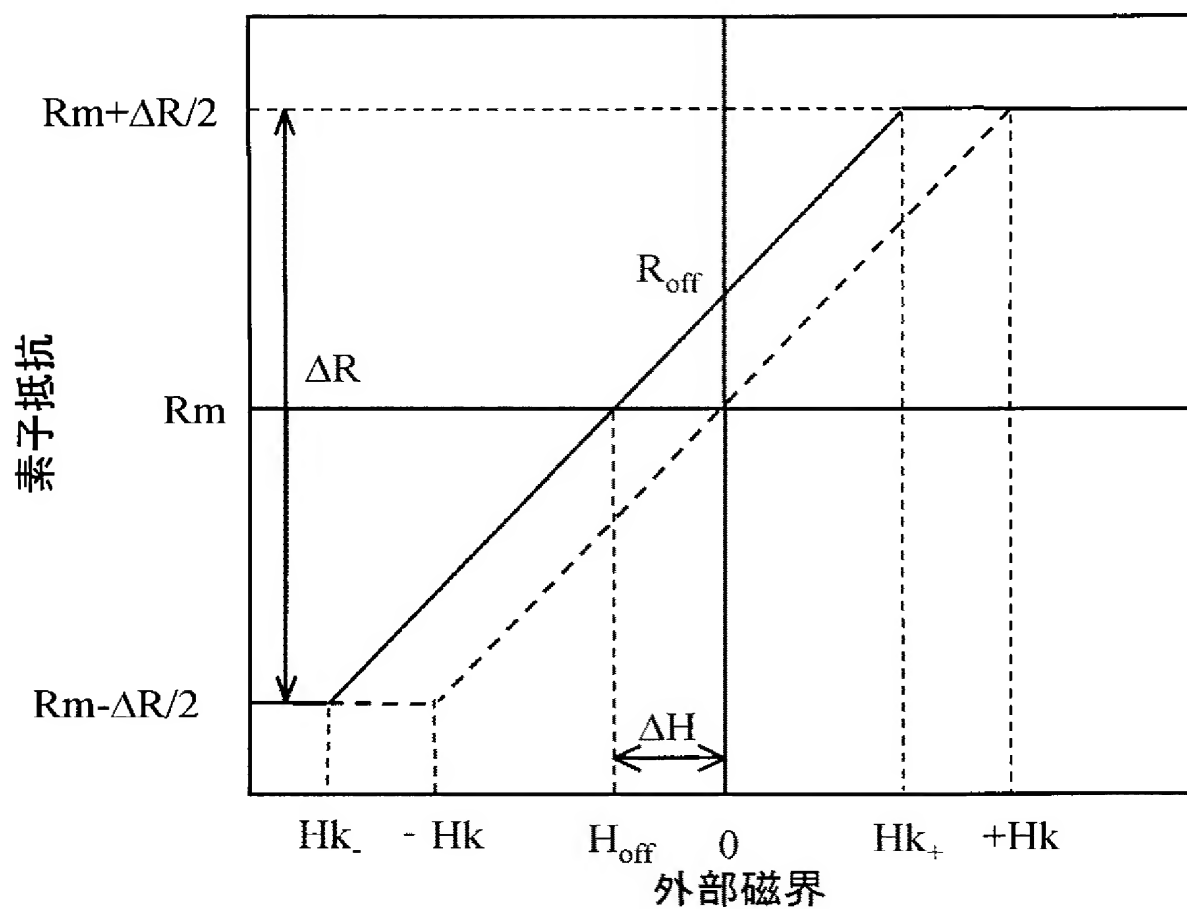
[図21]



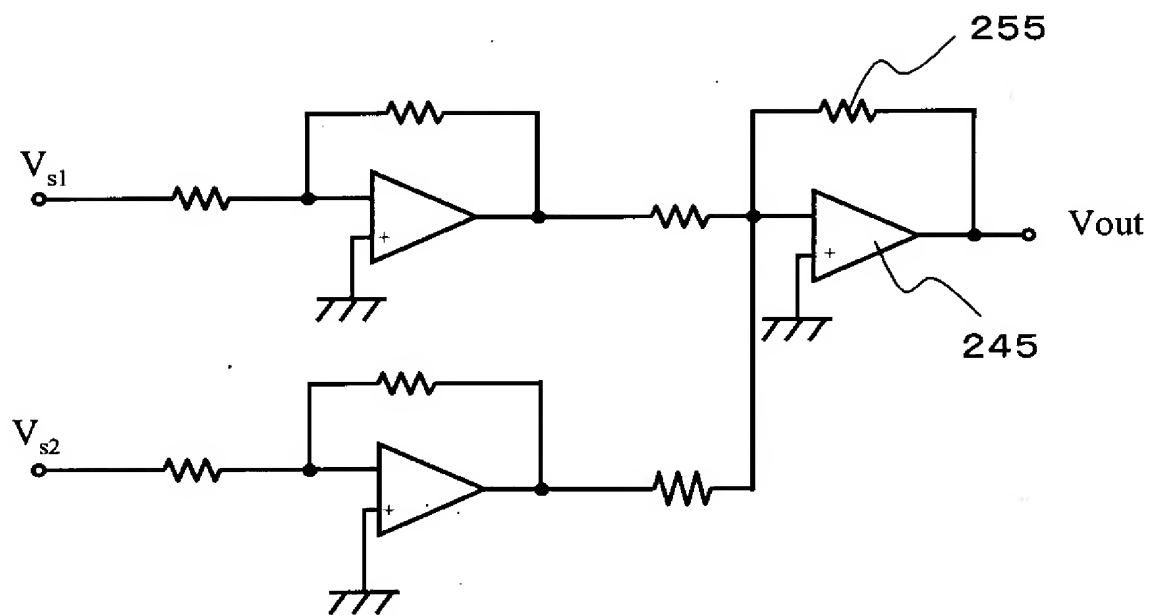
[図22]



[図23]



[図24]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013824

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G01R33/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G01R33/02-10, H01L43/00-14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-217484 A (Toyota Motor Corp.), 10 August, 2001 (10.08.01), Par Nos. [0014] to [0018]; Figs. 9, 10 (Family: none)	1-18
A	JP 2000-180207 A (Yazaki Corp.), 30 June, 2000 (30.06.00), Par Nos. [0026] to [0041]; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1-18
A	JP 8-226960 A (International Business Machines Corp.), 03 September, 1996 (03.09.96), Par Nos. [0009] to [0014]; Figs. 1 to 2 & EP 0710850 A2 Page 3, 1.26 to page 4, 1.16; Figs. 1 to 2	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
06 December, 2004 (06.12.04)

Date of mailing of the international search report  
21 December, 2004 (21.12.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01R 33/09

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01R 33/02-10,  
H01L 43/00-14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-217484 A (トヨタ自動車株式会社) 2001.08.10, [0014]-[0018], 図9,10 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 2000-180207 A (矢崎総業株式会社) 2000.06.30, [0026]-[0041], 図1-3 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 8-226960 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・ コーポレーション) 1996.09.03, [0009]-[0014], 図1-2, & EP 0710850 A2, p.3, 1.26-p.4, 1.16, FIG.1-2	1-18

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.12.2004

国際調査報告の発送日

21.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

堀 圭 史

2S

3005

電話番号 03-3581-1101 内線 3258